三相异步电动机修理

上海市废旧物资公司

三相异步电动机修理

上海市废旧物资公司

上海人民出版社出版
（上海紹兴路5号）
新华书店上海发行所发行　上海市印刷三厂印刷
开本 787×1092 1/32　印张 8.25　字数 180,000
1975年3月第1版　1975年3月第1次印刷
印数 1—100,000

统一书号：15171·174　　定价：0.48元

毛主席语录

勤俭办工厂，勤俭办商店，勤俭办一切国营事业和合作事业，勤俭办一切其他事业，什么事情都应当执行勤俭的原则。这就是节约的原则，节约是社会主义经济的基本原则之一。

要节约闹革命。

前　言

电动机由于使用便利，安装方便，维修简易，因此已成为近代工农业生产中的主要动力设备。我国在解放前，电机制造工业几乎是一个空白点，虽有几个小小的所谓电机厂，实际上是用外国进口的材料进行加工，生产一些最普通的小功率电动机，在外货的倾销排挤下，产量稀少，几无立足之地。解放后，在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国电机制造工业得到了迅速的发展，特别是无产阶级文化大革命以来，机电工人狠批了刘少奇、林彪修正主义路线的崇洋迷外思想、“洋奴哲学”、“爬行主义”，把电机制造工业的发展推上了新的阶段，在短短几年中，继制成十二万五千千瓦双水内冷汽轮发电机组之后，现已造出了三十万千瓦的发电机组。在电动机方面，不仅用于各种电力拖动的交直流电动机大幅度增产，质量不断提高，并且微型电机和其他特殊电机的规格品种和产量也迅速增长，为生产自动化的推广提供了必要的条件。

随着工农业的迅速发展，对电动机的需要量也日益增长。伟大领袖毛主席教导我们：“**要节约闹革命**”。因此，除了大力增产新电动机来满足需要之外，还必须注意在运行中的电动机的维护保养，以求最大限度地延长电机使用寿命；对于损坏报废或规格不合需要的电动机，尽量设法修复或改制，使它在社会主义建设中重新发挥作用。

为了适应维修电动机的需要，我们组织了黄浦、虹口两区旧机电商店的职工，收集了在电动机修旧利废实践中积累的

一些经验和技术资料，整理出版。但是，有人对我们工人写书抱着怀疑态度，他们的脑海中只有那本三十年代外国人写的《电动机修理》。该书不仅内容陈旧，而且错误百出。在批林批孔运动的推动下，参加编写的工人同志和出版社的编辑同志一起狠批了林彪、孔老二的“上智下愚”谬论，组成了“三结合”编写组，编写了这本《三相异步电动机修理》。

由于我们政治思想和业务技术水平不高，经验也不全面，本书难免会有不妥和错误之处，欢迎广大工农兵读者批评指正。

上海市废旧物资公司

一九七四年十月

目　录

前　言
第一章　三相异步电动机的构造 ……1
第一节　三相异步电动机的外形和结构 ……1
第二节　三相异步电动机的名牌 ……15
第三节　电动机的拆卸和装配 ……21
第二章　三相异步电动机的绕组 ……26
第一节　有关绕组分布的一些基本知识 ……26
第二节　单层绕组 ……31
第三节　双层绕组 ……42
第四节　转子绕组 ……53
第五节　槽矢量星形图的应用和绕组的联接 ……56
第三章　三相异步电动机的故障及其预防 ……70
第一节　三相异步电动机的常见故障现象 ……70
第二节　怎样分析判断故障 ……72
第三节　怎样正确使用电动机 ……75
第四章　绕组故障的检查和修理 ……83
第一节　定子绕组故障的检查和处理 ……83
第二节　转子绕组故障的检查和处理 ……97
第三节　定子绕组重嵌工艺 ……102
第五章　三相异步电动机绕组重绕的计算 ……133
第一节　绕组重绕计算 ……133
第二节　三相异步电动机的改压 ……160
第三节　三相异步电动机的改极 ……168
第四节　单速电动机改绕单绕组双速电动机 ……172

第六章　电动机机械故障的修理 ……182
第一节　转轴的故障和修理 ……182
第二节　机座的修理 ……185
第三节　轴承的维护和修理 ……191
第四节　潜水电泵的修理 ……204
第七章　三相异步电动机的试验 ……209
第一节　试验前的准备 ……209
第二节　试验方法 ……209
附录一　J 型三相异步电动机的技术数据 ……218
附录二　JO 型三相异步电动机的技术数据 ……222
附录三　J_2 型三相异步电动机的技术数据 ……226
附录四　JO_2 型三相异步电动机的技术数据 ……229
附录五　JO_3 型三相异步电动机的技术数据 ……234
附录六　分马力电动机的铁心、绕组数据……242
附录七　早年产品(老式、进口)电动机的铁心、绕组数据…244
附录八　QY 型油浸式潜水电泵技术数据 ……252
附录九　硅钢片磁化曲线 ……253

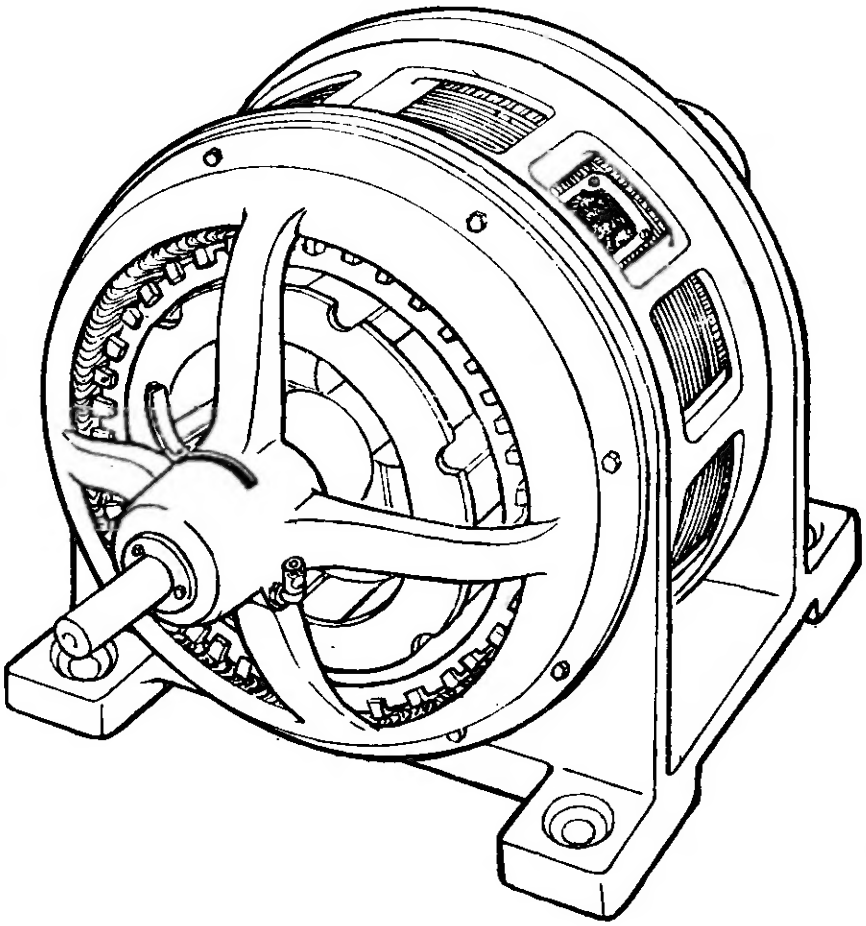
第一章　三相异步电动机的构造

工农业生产用机械绝大部分使用电力拖动，拖动用的电动机按所用电源分为交流电动机和直流电动机两大类。电力网都是三相交流供电，所以三相交流电动机应用最广。交流电动机又可分为同步电动机和异步电动机两种，异步电动机由于结构比较简单，使用和维修方便，价格低廉，所以工农业生产上应用最广的是三相异步电动机。

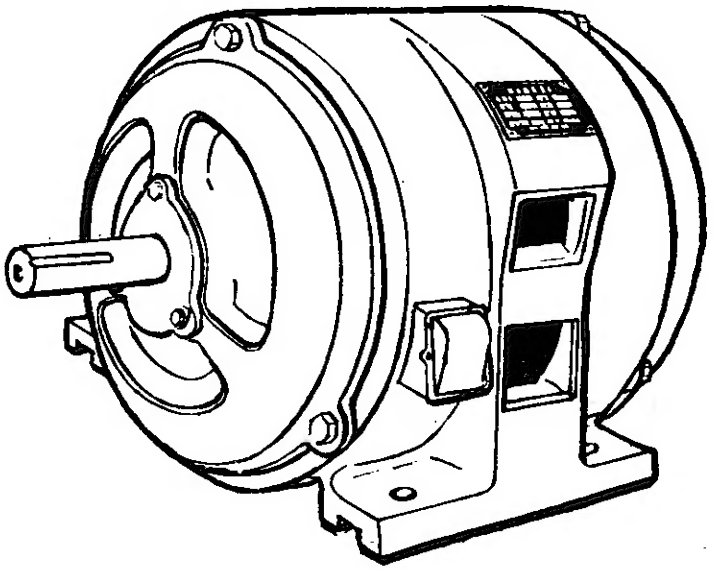
三相异步电动机又称三相感应电动机，按其转子结构的不同又可分为鼠笼式和绕线转子式两种。绕线转子式电动机可以在较小的起动电流下获得较大的起动转矩；若电力网不容许起动时需要较大起动电流的鼠笼式电动机时（例如变压器容量较小），可使用绕线转子式电动机。

第一节　三相异步电动机的外形和结构

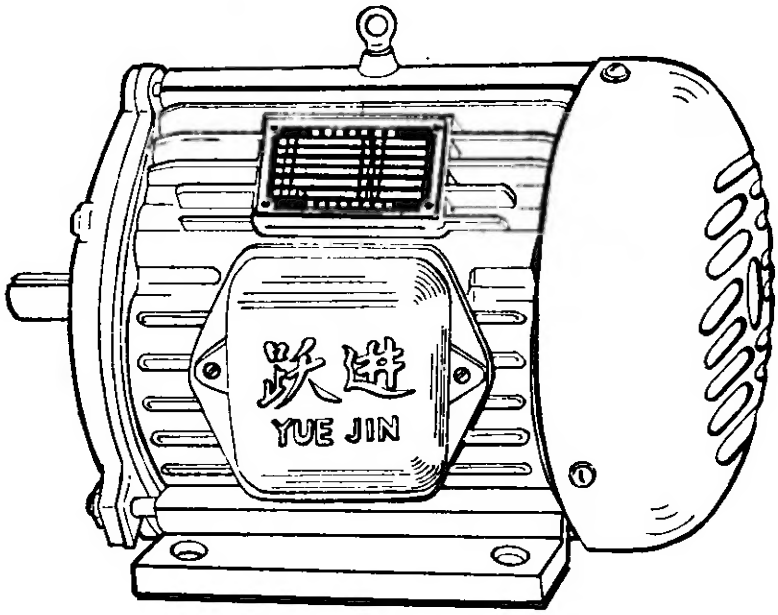
三相异步电动机有各种外形结构以适应不同的工作需要，从外表防护上分为开启式、防护式和封闭式，如图 1-1 所示。开启式机座四周有通风孔，用以散热；这种型式的电动机我国现已很少生产。防护式的机座两侧和下部有数个通风孔道，通风孔上有突缘，可防雨滴和异物落入电机内部。封闭式的机座表面有若干条散热片，机座底部两端各有一个小孔，用以流出冷凝水；这种电机可以防止飞溅的水土、异物和灰尘进入电机内部。此外还有一些特殊的结构型式，如防爆式可用于有爆炸性气体的场所，潜水泵式可浸在水中工作等等。根



(*a*)



(*b*)



(*c*)

图 1-1　三相异步电动机的外形

(*a*) 开启式；(*b*) 防护式；(*c*) 封闭式

据安装方式的不同还有卧式结构和立式结构之分。

三相异步电动机在外形上虽有多种型式，但在电机结构上是相同的。图 1-2 示一台封闭式电动机的结构，由以下几个部分组成。

1. 机座

机座是电动机外壳的主要部分，用铸铁制成，特殊规格的用铸钢、钢板或铝制。除小型电机外，一般机座顶上都有吊环。

2. 定子

定子由定子铁心和定子绕组两部分组成。定子铁心是电机磁路的一部分，用 0.35 或 0.5 毫米厚硅钢片迭压而成，硅钢片的内圆周上冲有槽口，迭成铁心后形成定子槽，定子绕组就嵌放在槽中。硅钢片表面涂有绝缘漆或覆有氧化层，使片与片间绝缘以减小涡流损耗。迭成的铁心固定在机座内，图

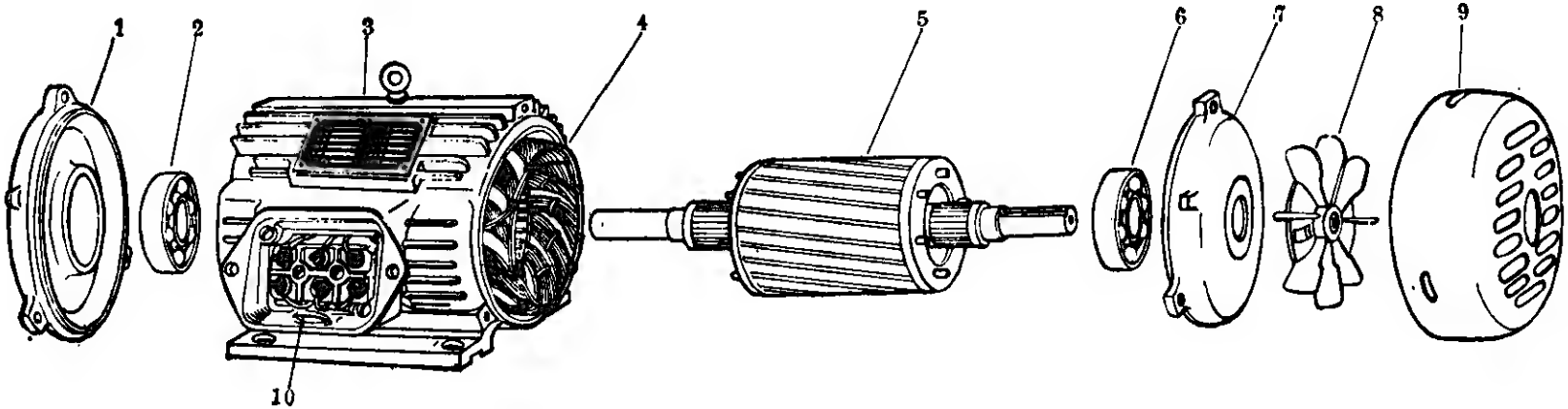


图 1-2　封闭式三相异步电动机的结构

1—端盖；　*2*—轴承；　*3*—机座；　*4*—定子；　*5*—转子；
6—轴承；　*7*—端盖；　*8*—风扇；　*9*—风罩；　*10*—接线盒

1-3 示已安装在机座内的定子铁心和定子硅钢片的外形。

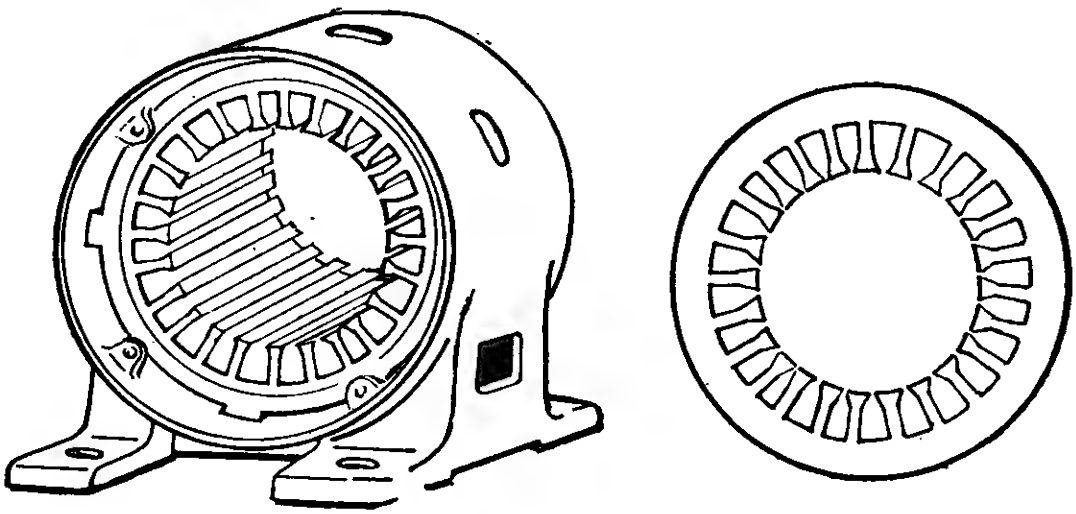
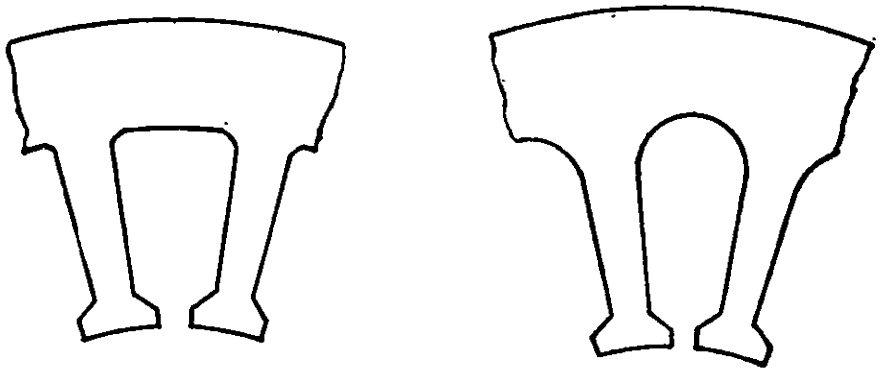


图 1-3　已装在机座内的定子铁心和定子铁心硅钢片外形

定子槽有平底槽和圆底槽；在中小型电机中一般采用半闭口槽，槽形如图 1-4 所示。



(*a*)　　(*b*)

图 1-4　定 子 槽 形

(*a*) 平底槽；　(*b*) 圆底槽

在功率较大的电机中，定子铁心中插入间隔物，形成风道，以加强散热，如图 1-5 所示。

定子绕组是由电磁线(漆包铜线、漆包铝线等)绕成的线圈，按一定规律嵌入定子槽中，并按一定方式联接成三相绕

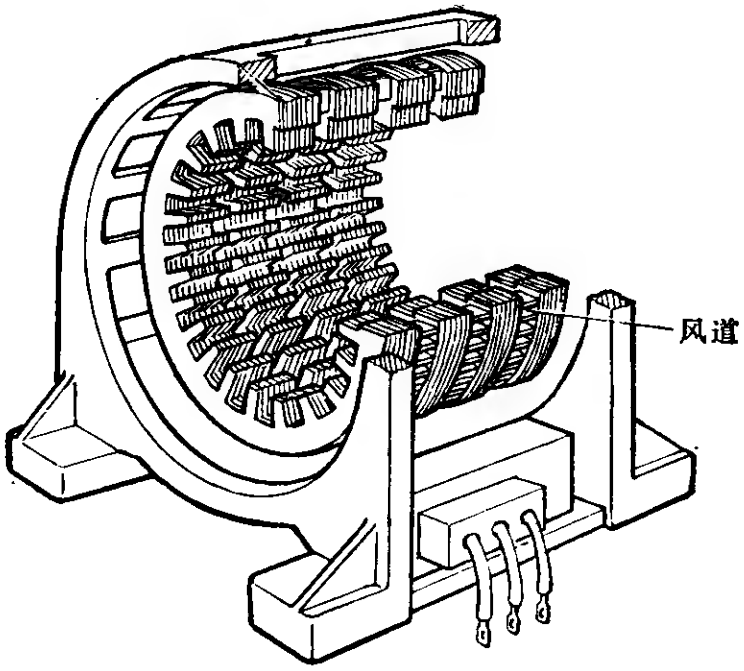


图 1-5　具有风道的定子铁心

组。定子绕组接通三相电源后，定子与转子之间的气隙中就产生旋转磁场，驱动转子旋转。线圈与定子槽壁之间隔以绝缘物，称为槽绝缘；如果是双层绕组，即一个定子槽内嵌放有两个线圈边，则在上下两个线圈边之间亦须放入绝缘物，称为层间绝缘；线圈上部槽口处用槽楔塞紧，不使线圈松动，如图 1-6 所示。

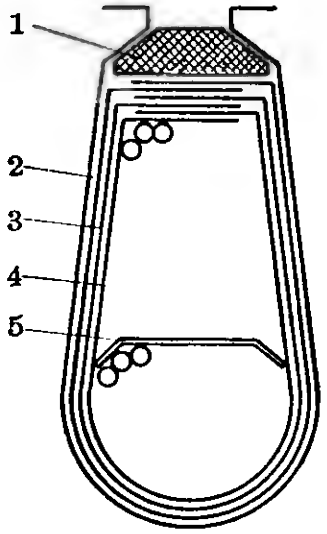


图 1-6　定子槽内的导线和绝缘的放置

1—槽楔；　*2*—黄蜡布；*3*—青壳纸；　*4*—进槽纸；*5*—薄膜青壳纸(层间绝缘)

3. 转子

转子是电动机的旋转部分，电动机的出力就是由转子轴输出。三相异步电动机的转子由转子铁心、转子绕组和转子轴组成。转子轴用碳钢制成(一般采用中碳钢)，两端轴颈与轴承相配合，出轴端铣有键槽，用以固定皮

带轮或联轴器。转子铁心也和定子铁心一样是用 0.35 或 0.5 毫米厚的硅钢片迭成，转子硅钢片的外圆周上冲有槽口，迭成转子铁心后形成转子槽，转子槽一般都是斜槽，以改善起动性能；转子绕组嵌置槽中，图 1-7 示几种转子冲片的形状。转子铁心利用键槽固定在转子轴上；小功率电机采用压紧配合，将转子轴压入转子铁心孔内。转子绕组有鼠笼式（鼠笼式异步电动机的转子）和绕线式（绕线转子式异步电动机的转子）两种。

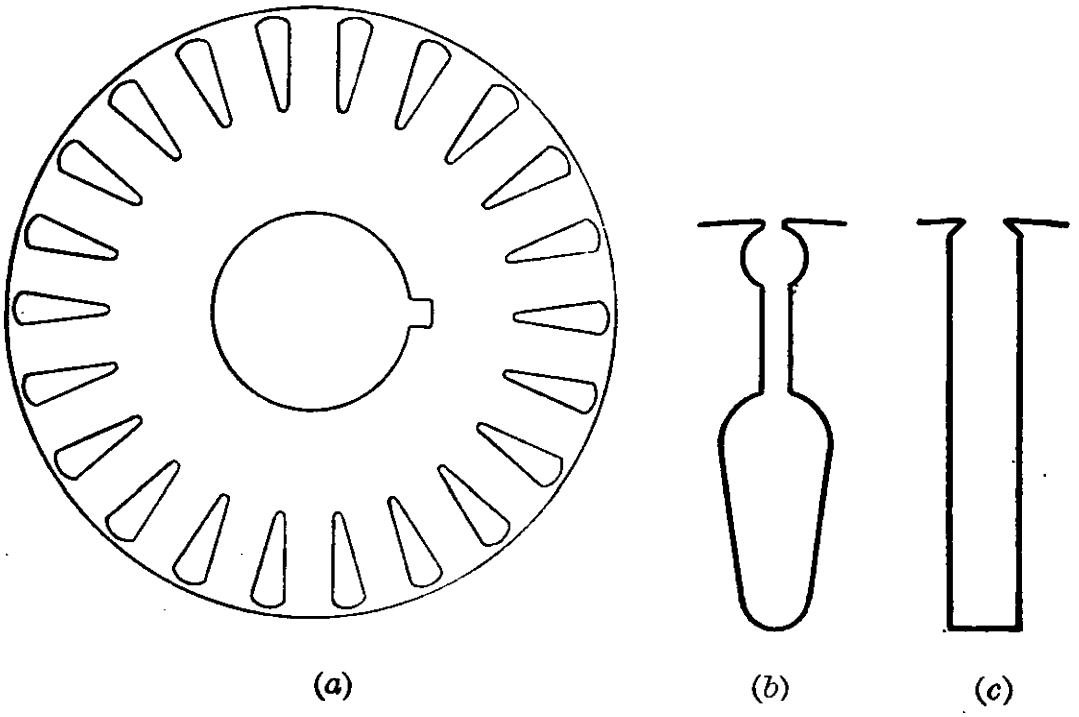


图 1-7　几种转子冲片和槽形

(a) 普通鼠笼转子冲片；　(b) 双鼠笼转子槽形；
(c) 深槽式鼠笼转子槽形

鼠笼式转子绕组是用裸铜条插入转子槽内，两端与铜端环焊接，形成闭路；中小型电机的鼠笼转子绕组一般用熔铝注入槽内，并连同端环和风扇铸成一体，如图 1-8 所示。这种绕组形状好象鼠笼，鼠笼式的名称即由此而来。

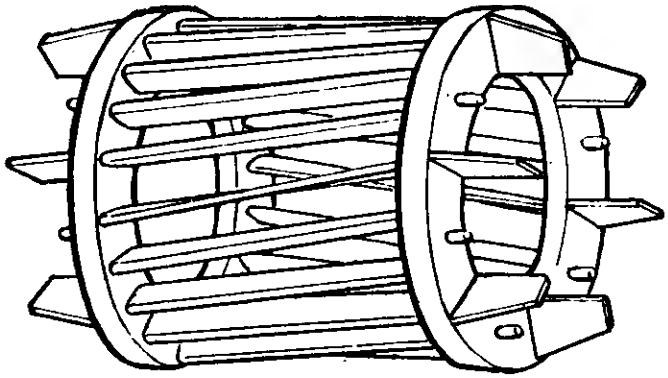


图 1-8　鼠笼式转子的绕组

在大、中型电机中，往往采用双鼠笼式或深槽式转子；双鼠笼式转子有内、外两个鼠笼，外笼用电阻较大的导体，通常用黄铜或青铜，内笼用铜制成；深槽式的槽特别深；采用这两种转子结构是为了改善电动机的起动性能。

还有结构比较特殊的鼠笼转子，如 QY 型潜水电泵的转子，在槽内加进了永磁材料的磁棒，如图 1-9 所示，这样可使电机的制动电流或起动电流显著下降，在单相运行或制动时电机绕组不致很快烧坏。

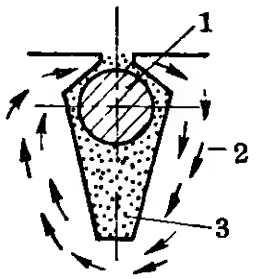
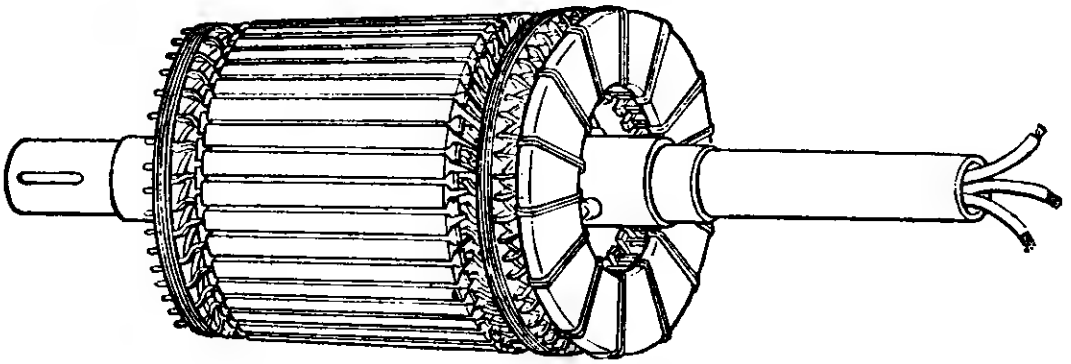


图 1-9　转子槽内的磁棒

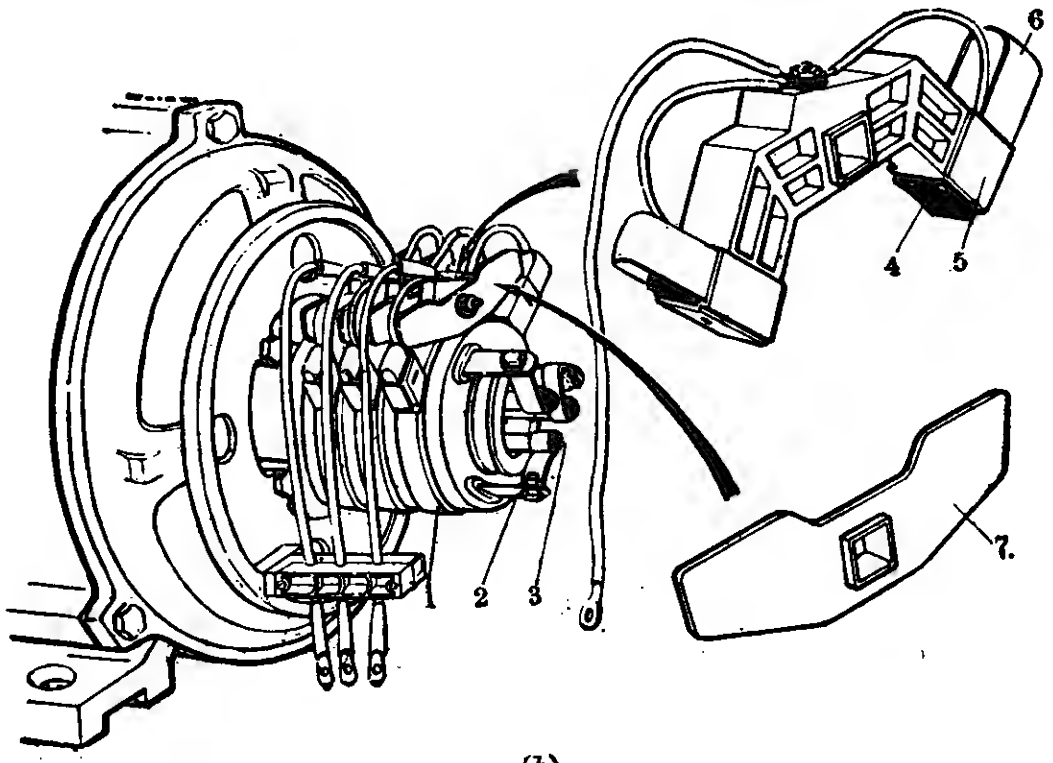
1—磁棒；　*2*—槽漏磁通；　*3*—铸铝导条

绕线式转子（见图 1-10）的铁心和鼠笼式转子铁心相同，但一般都是直槽；转子的绕组是和定子绕组相仿的三相绕组，极数和定子绕组相同。小功率绕线转子异步电动机的转子绕组也和定子绕组相仿用圆电磁线绕成后嵌入槽内，有的用穿线法嵌入；功率较大的电机的转子绕组是用扁铜条或铜线制成的波形绕组。绕组一般接成Y形，三个出线头 *3* 从转子轴的孔道中引出，通过滑环接头 *2* 接到固定在轴上的三个滑环 *1* 上，所以绕线转子式异步电动机又称滑环式异步电动机。三个滑环彼此相互绝缘并和转子轴绝缘。转

子绕组通过滑环和同滑环接触的三组电刷 4 与外加起动变阻器联接，电刷由弹簧 6 压在电刷架的电刷座 5 中，电刷架固定在电机一端的端盖上。在功率较大的绕线转子式异步电动机中有举刷装置，在电机起动完毕后可以用操作手柄(或手轮)将电刷举起，使与滑环脱离接触，同时绕组即被短路。



(a)



(b)

图 1-10　绕线式转子和滑环电刷装置

(a) 未装滑环的绕线转子；　(b) 转子轴上的滑环和电刷

4. 端盖

端盖是电机外壳的一部分，用铸铁做成(特殊的用钢板压成)，用螺栓固定在机座两端。端盖的外圆周有企口，与机座的止口相吻合，端盖的中心圆孔安装轴承，使转子正确处在定子内腔中心。定子与转子之间的间隙(气隙)是很小的，所以对于同心度的要求较高。

5. 轴承及轴承内外盖

轴承有滚动轴承和滑动轴承两种，滚动轴承又分球轴承和滚柱轴承，它们的结构如图 1-11 所示。大多数电机都采用滚动轴承，轴承的外圈装在端盖的轴承孔内，内圈装在转轴的轴颈上。轴承的两面有轴承盖，用螺栓固定在端盖上。轴承盖与转轴之间的间隙处装有毡质油封，以阻止轴承内的润滑脂流出和尘埃侵入。

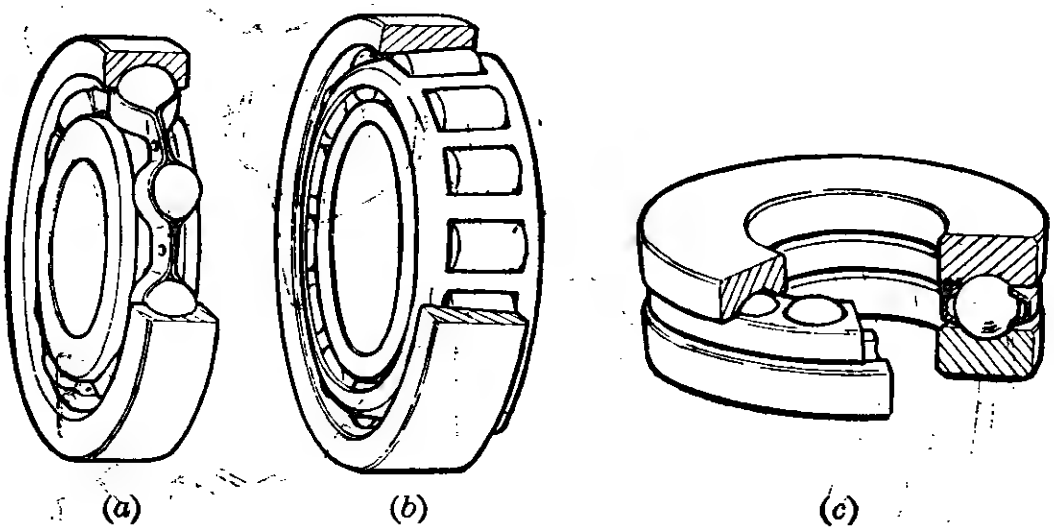


图 1-11 轴承结构

(a) 向心球轴承； (b) 圆锥滚柱轴承； (c) 推力轴承

滑动轴承(套筒轴承)在过去的旧式电机上常可见到，如今在中小型电机上已很少见到，但在较大容量的电动机中仍多采用。滑动轴承有铜质合金和铅锡基合金等几种。滑动轴

承固定在端盖上，用定位螺栓固定；端盖上有贮存润滑油的油室。轴承与轴的接触面上开有油槽，使润滑油能分布在整个接触面上；大多数滑动轴承还装有油环，轴转动时带动油环转动，把油室内的润滑油带到轴承与轴的接触面。滑动轴承运转时噪声比较小，但须经常换油，维修较麻烦，不宜使用于尘埃多的场所。图 1-12 示滑动轴承的结构。

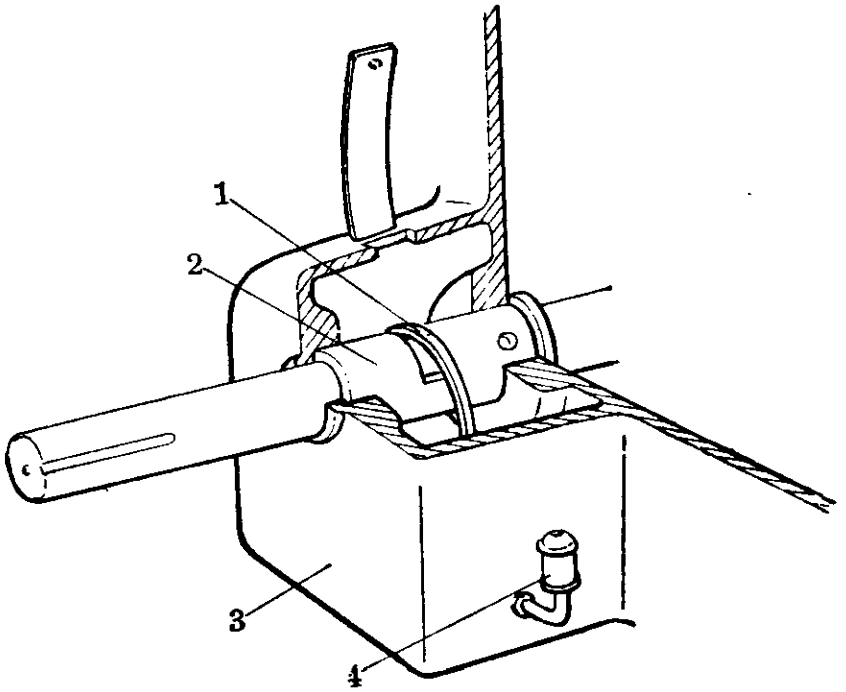


图 1-12　滑动轴承(套筒轴承)的结构

1—油环；　*2*—轴承；　*3*—油箱；　*4*—油位指示器

6. 接线盒

接线盒用铸铁做成，或用薄铁板冲制，用螺栓固定在机座上，一般装在机座的右侧（从轴伸方向看），也有装在左侧或顶部的。绕组的引出线固定在接线盒内的接线柱上，并可按一定方式把绕组联接成Y形或△形。接线盒如

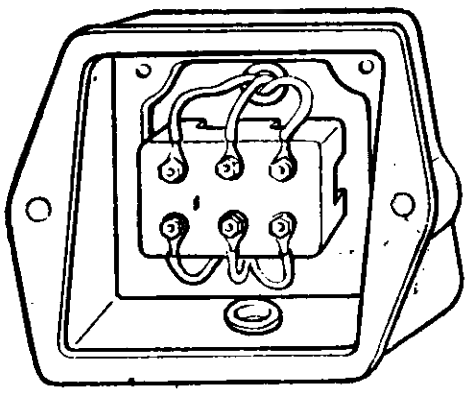


图 1-13　接线盒

图 1-13 所示。

7. 风扇、风罩

开启式和防护式电机在转子上有风扇 (见图 1-8)；封闭式电机有自冷式和扇冷式两种，近年来生产的大多数是扇冷式，除在转子上有风扇外，并在电机外部装有风扇。风扇用铝合金、铸铁、塑料等制成，固定在转轴上，以助散热。

风罩用薄铁板冲成，装在风扇外，除起保护风扇作用外，还使扇出的气流形成定向气流，沿散热片方向吹出，加强散热效果。

特殊用途的电机，在结构上也有特殊点。例如潜水电泵，是由一台水泵和一台立式三相异步电动机组合成一体的电力排灌设备，可用于农业浅水排灌例如水稻田排灌、蔬菜田喷灌等等，亦可用于工业上例如水塔送水、井下提水、船舶舱底排水等等。这种电机由于要在水下工作，因此对于电机部分有严格的密封要求。潜水电泵有 QY 型(油浸式)和 JQB 型 (屏蔽套式或称干式)，前者为后者的改进型，两者外形相似，结构亦大致相同，大部分零件可通用，不同点主要在于前者电机内部充油，而后者不充油。潜水电泵外形见图 1-14 示例，图 1-15 示 QY-7 米和 QY-15 米两种型号的结构剖视图，图 1-16 示 QY 型潜水电泵的拆卸图。电泵的上部为一台水泵，

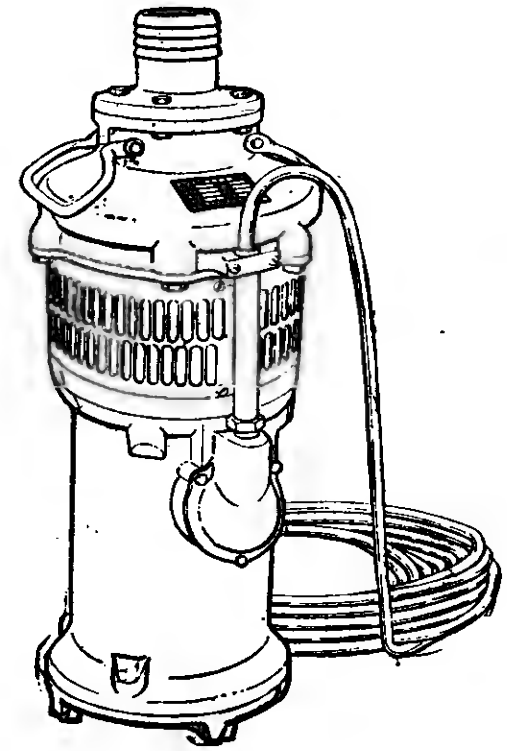


图 1-14　QY-15 米型潜水电泵的外形

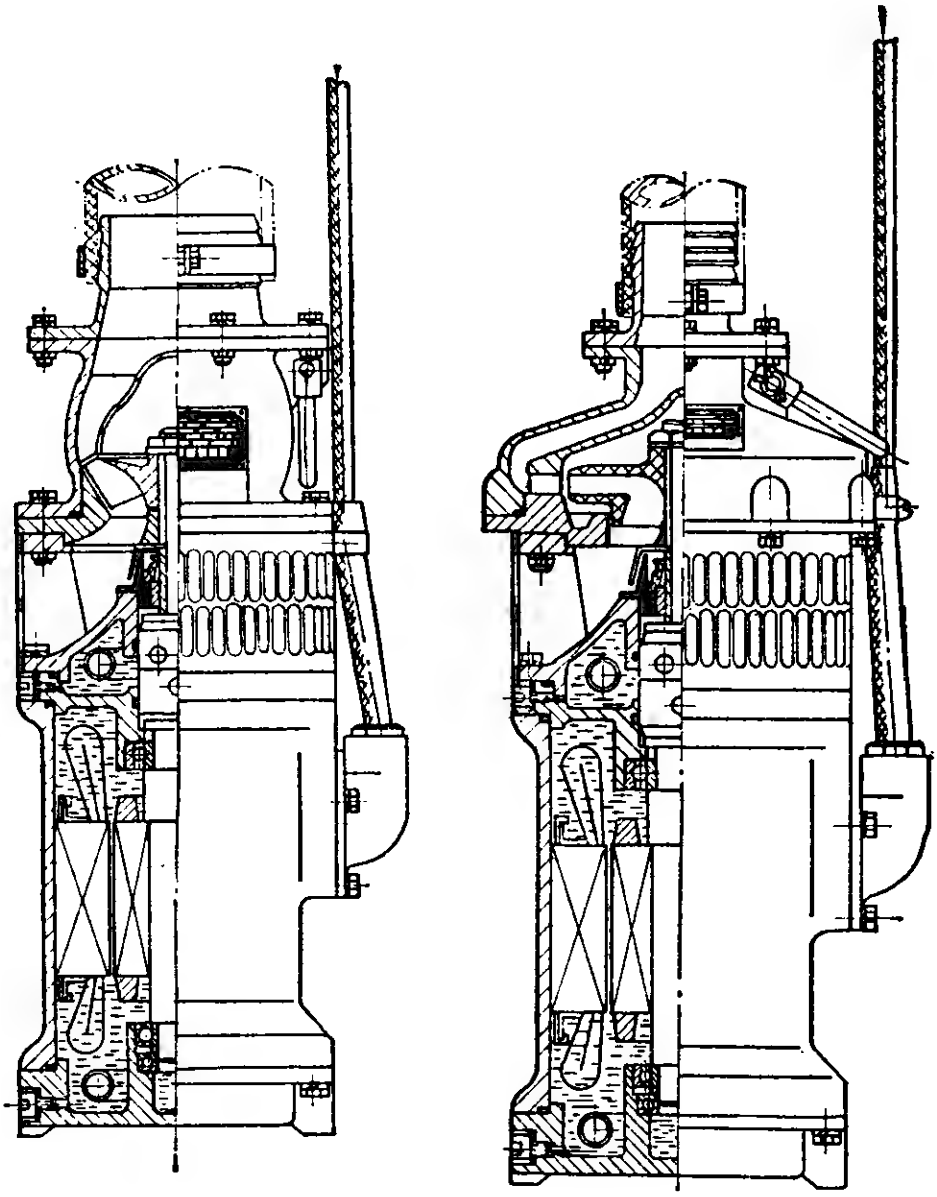


图 1-15　QY-7 米(左)和 QY-15 米(右)型潜水电泵的剖视图

有轴流泵、混流泵、离心泵三种；下部为一台立式三相两极鼠笼式异步电动机，功率 2.2 千瓦；水泵与电动机之间为整体式密封盒，这是潜水电泵中主要的密封部件。QY 型潜水电泵电动机的定、转子间全部空隙中充满 5 号机械油，以利散热，下盖上有加油孔；电机内部充油之后，也解决了轴承的润滑和电机内部的防腐蚀等问题。JQB 型内部不充油，定子绕组上有屏蔽套作为保护，下盖上有放水孔。

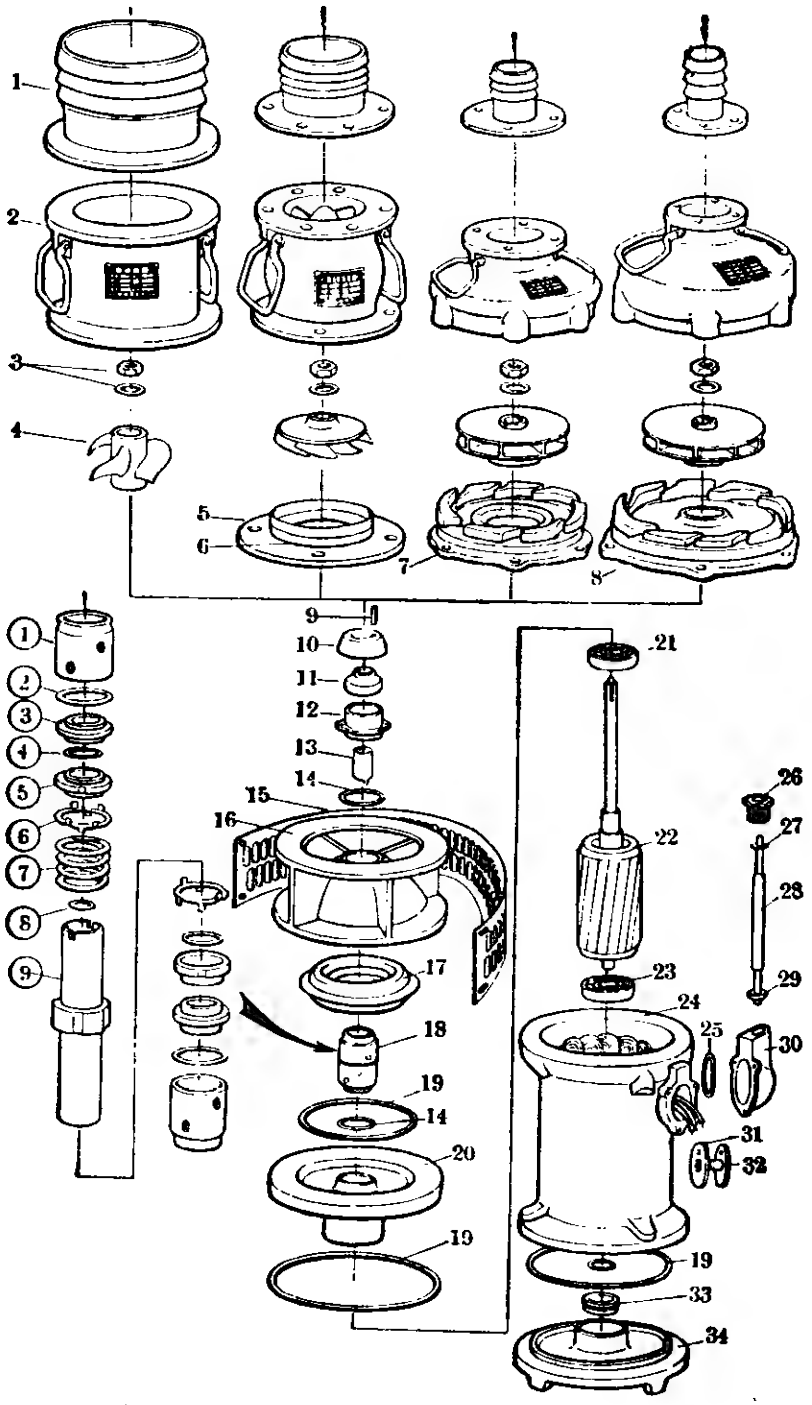


图 1-16　QY 型潜水电泵的拆卸图

1—出水管；　*2*—导向件；　*3*—螺母及垫圈；　*4*—叶轮；　*5*—泵盖；　*6*—封环(ϕ120×3)；　*7*—封环(ϕ182×3)；　*8*—封环(ϕ217×3)；　*9*—键；　*10*—甩水器；　*11*—油封；　*12*—轴承座；　*13*—轴套；　*14*—格栅；　*15*—进水节；　*16*—封环(ϕ46×3)；　*17*—扩张件；　*18*—整体式密封盒；　*19*—封环(ϕ143×3)；　*20*—上盖；　*21*—轴承(305 型)；　*22*—转子；　*23*—轴承(204 型)；　*24*—定子；　*25*—封环(ϕ60×3)；　*26*—螺母；　*27*—垫圈；　*28*—护套及电缆；　*29*—涨紧垫圈；　*30*—出线盒；　*31*—封口板；　*32*—封口塞；　*33*—轴承(8204 型)；　*34*—下盖。

①—密封盒；　②—封环(ϕ34×3)；　③—静磨块；　④—封环(ϕ24×3)；　⑤—动磨块；　⑥—支架；　⑦—弹簧；　⑧—封环(ϕ18×3)；　⑨—轴套

第二节　三相异步电动机的名牌

每台电动机的外壳上都有一块名牌，如图 1-17 所示的例子，名牌上列有这台电动机的主要规格，应按照这些数据使用电动机，在修理时亦应以这些数据作为根据，下面扼要说明一下这些项目的意义。

三 相 异 步 电 动 机

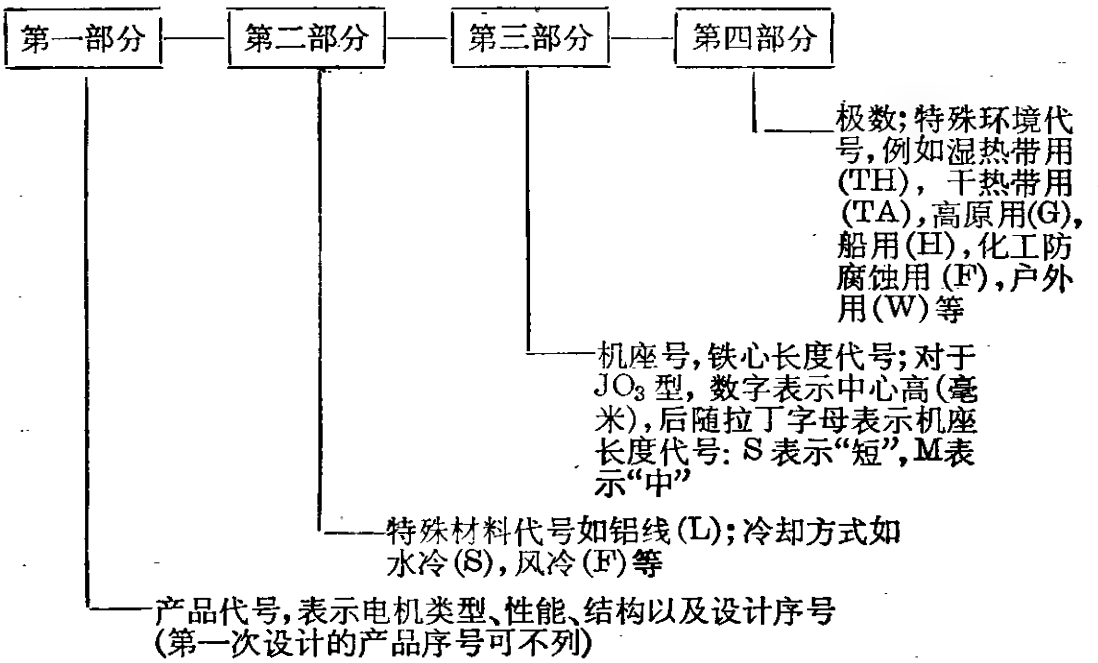
型　　号	$JO_3$140 M-2L	编　　号	0310
功　　率	11　千瓦	定　　额	连续
电　　压	380　伏	接　　法	△
电　　流	22　安	绝缘等级	E
转　　速	2940　转/分	温　　升	75°C
频　　率	50　赫	重　　量	
出厂日期		功率因数	0.88

× × 电 机 厂

图 1-17　电动机名牌示例

1. 型号

型号是表示电动机型式的代号，由汉语拼音字母和数字组成。型号各部分表示的意义如下：



常用中小型三相异步电动机的型号、结构和用途见表1-1。

表 1-1　常用中小型三相异步电动机的型号、结构和用途

型号	名　　称	结　构　型　式	用　　途
J J_2	防护式异步电动机	防护式，铸铁外壳，铸铝转子	一般拖动用，用于环境清洁、灰尘少的地方
JO JO_2 JO_3	封闭式异步电动机	封闭式，铸铁外壳上有散热片，铸铝转子，外风扇冷却；JO_2 有铜线和铝线两种定子绕组；JO_3 为铝线定子绕组	一般拖动用，用于水土飞溅、灰尘较多的地方
JQ	防护式高起动转矩异步电动机	同 J 型	用于需要较大起动转矩的机械
JQO	封闭式高起动转矩异步电动机	同 JO 型	同上，适用于水土飞溅、灰尘较多的场所
JL	防护式铝壳异步电动机	防护式，铸铝外壳铸铝转子	用于须减轻重量的地方，如机床、运输机械等
JLO	封闭式铝壳异步电动机	封闭式，铸铝外壳上有散热片，铸铝转子	同上，用于灰尘较多的场所
JR	防护式绕线转子异步电动机	防护式，铸铁外壳，绕线式转子	用于电网功率较小，不足以起动鼠笼式异步电动机，并要求较大起动转矩的地方
JRO	封闭式绕线转子异步电动机	封闭式，铸铁外壳上有散热片，绕线式转子	同上，用于水土飞溅、灰尘较多的场所
JZ	起重冶金用异步电动机	封闭式，铸铁外壳上有散热片，外风扇冷却，铜条转子	用于起动频繁的机械
JZR	起重冶金用绕线转子异步电动机	封闭式，铸铁外壳上有散热片，外风扇冷却，绕线转子	同上
JS	中型双鼠笼转子异步电动机	防护式或管道通风式，双鼠笼转子	

（续表）

型号	名　　称	结　构　型　式	用　　途
JK	中型高速异步电动机	防护式，铸铁外壳，铜条转子	
JD	防护式多速异步电动机	同J型	用于需要多种(2～4种)速度的机械
JDO	封闭式多速异步电动机	同JO型	同上，用于水土飞溅、灰尘较多的场所
JB	防爆异步电动机	防爆式，钢板外壳，铸铝双鼠笼转子	用于有爆炸性气体的场所
JBS	防爆异步电动机(小机座)	防爆式，铸铁外壳上有散热片，铸铝转子	同上
JTD	电梯用异步电动机		
Q	潜水异步电泵	由电机、水泵及整体密封盒组成	排灌用

例如JO52-4表示封闭式异步电动机，5号机座，2号铁心长度，四极；又如JO_2-L-52-4F表示封闭式铝线鼠笼转子异步电动机，5号机座，2号铁心长度，四极，化工防腐蚀用。

2．功率

它表示一台电动机在按照名牌规定使用的情况下转轴上输出的功率，单位是千瓦，有的名牌中也称容量、出力等；旧式电动机常用“马力”(HP)表示容量，千瓦与马力的换算如下式：

$$1\text{千瓦}=1.36\text{马力(HP)}$$

$$1\text{马力}=0.736\text{千瓦}$$

为使用方便，表1-2中列出常用的千瓦与马力变换数值。

表 1-2

千瓦变换马力

千瓦	马力	千瓦	马力	千瓦	马力	千瓦	马力	千瓦	马力
0.37	0.5	4	5.43	13	17.68	30	40.76	100	136
0.6	0.82	4.5	6.12	14	19.04	35	47.55	125	170
0.736	1	5	6.79	15	20.38	40	54.25	135	183.6
1	1.36	5.5	7.48	17	23.12	50	67.94		
1.7	2.31	6	8.15	20	27.17	55	74.73		
2.2	3	7	9.51	22	29.92	75	101.30		
2.8	3.81	7.5	12	25	33.97	85	118.49		
3	4.08	10	13.6	28	38.08	95	129.08		

马力变换千瓦

马力	千瓦	马力	千瓦	马力	千瓦	马力	千瓦	马力	千瓦
0.5	0.37	4	2.94	12	8.83	32	23.55	65	47.84
0.82	0.6	5	3.68	13	9.56	35	25.76	70	51.52
1	0.736	5.5	4.04	15	11.04	37	27.23	75	55.2
1.5	1.10	6	4.42	16	11.78	40	29.44	80	58.88
2	1.47	7	5.15	20	14.72	45	33.12	85	62.56
2.2	1.61	7.5	5.42	23	16.82	50	36.8	90	66.24
3	2.21	10	7.36	25	18.4	55	40.48	95	69.92
3.5	2.58	11	8.09	30	22.08	60	44.16	100	73.6

3. 电压

它表示这台电动机应该接的线电压值，电压过高或过低都对电动机不利，甚至会烧毁电动机。如果名牌上列有两个

电压值，例如 220/380 伏，这表示对应两种接法时应接的线电压值。

4. 电流

它表示在名牌上额定的电压和频率下，电动机在名牌额定出力时的电流。这个电流值叫做满载电流，若电流过大，说明电动机已过载或有其他故障，应即检查，否则电动机将过热而烧坏绕组。若名牌上有两个电流值，例如 10.5/6.1 安，这表示对应于两种接法和两种电压时的电流值。

5. 接法

这是电动机在名牌规定的电压下应采用的结线方式，有△和Y两种联结。若名牌上列有两个电压值和两个电流值，则接法也标明有两种：△/Y，表示在前一种电压值和电流值时为△接法，在后一种电压值和电流值时为Y接法。

6. 频率

这表示电动机所接交流电源的频率。我国电力网的频率为 50 赫(周/秒)。

7. 转速

它表示电动机在额定出力时每分钟的转数，称额定转速。电动机在空载运转时，其转速接近于同步转速。同步转速 n_1 与电源频率 f 和极对数 p 的关系如下：

$$n_1=\frac{60f}{p}\ [\text{转/分}]$$

电动机负载增加时转速就减低，达到额定负载时转速减低到额定转速。额定转速 n 与同步转速 n_1 的差，除以同步转速 n_1，叫做转差率(亦称滑率) s，可用公式表示如下：

$$s=\frac{n_1-n}{n_1}\times 100\%$$

一般转差率在5% 以内。

8. 定额

按电动机运行的持续时间和顺序，定额分为“连续”、“短时”、“断续”三种。“连续”——表示这台电动机可以按名牌的各项额定值连续运行；“断续”——表示只能短时运行，但可多次断续使用，这适用于停开比较频繁的地方；“短时”——表明只能按名牌规定工作时间使用。

9. 功率因数

异步电动机的功率因数随负载不同而变化，负载越轻功率因数越低，名牌上标明的是电动机在额定运行即满载运行时的功率因数值，一般在0.85～0.9左右。因此，在选用电动机容量时不要选得过大，应尽可能接近满载运行，否则功率因数太低，给电网带来不利，并且过大的电动机，也是浪费。

10. 温升

温升就是电动机比环境高出的温度。环境温度有高低，我国电机技术标准规定以环境（空气）温度40℃为准。电动机的容许温升就是在环境温度为40℃时容许超过的温度。如环境温度超过40℃，容许温升应减去这一超过值；如环境温度低于40℃，对于A级和E级绝缘温升不变，对于B级、F级、H级等可相应提高。

11. 绝缘等级

电机的工作温度主要是受绝缘材料的限制。因此电动机中所用的绝缘等级就是电动机容许温升的主要决定因素。异步电动机中所用的绝缘材料，按耐热性能分为A级、E级、B级、F级、H级等几种。电动机所用绝缘的等级，在修理时亦必须注意。

12. 转子电压

这是绕线转子式异步电动机的转子绕组开路电压，即两个线端间的电压。

13. 转子电流

这是绕线转子式异步电动机在额定负载时转子绕组中的电流；绕线转子式异步电动机的起动变阻器根据转子电压和转子电流来选用，如果选用不当，会降低电动机的起动性能。

此外，电动机的名牌上还标明制造厂名、出厂编号、出厂年月等。

第三节　电动机的拆卸和装配

在修理或维护保养电动机时，须把电动机拆开。拆卸应按正确的方法进行，在拆卸中不能使电动机的各个零部件受到不应有的应力，否则就会损坏零部件。拆卸前，应预先在线头、端盖、刷握等处做好标记，以便于修复后的装配。在拆卸中，可以同时进行检查和测量，并作好记录。

1. 拆卸电动机的步骤

电动机的拆卸可按下列步骤进行：①拆开端接头；抬起或提出电刷（绕线转子式电动机）；②拆卸皮带轮或联轴器；③拆卸刷架（绕线转子式电动机）；拆卸风扇和风罩（封闭式）；④拆卸轴承盖和端盖（先卸联轴端，后卸滑环或换向器端）；⑤抽出或吊出转子。

2. 电动机各部分零件的拆卸方法

(1) 拆卸皮带轮或联轴器　先拆开电动机的端接头。然后把皮带轮或联轴器上的定位螺钉或销子松脱或取下。用两爪或三爪拉马（也称拉盘、拿子、拔子），如图 1-18 所示，转动丝杠，把皮带轮或联轴器慢慢取下。丝杠尖端必须对准电动

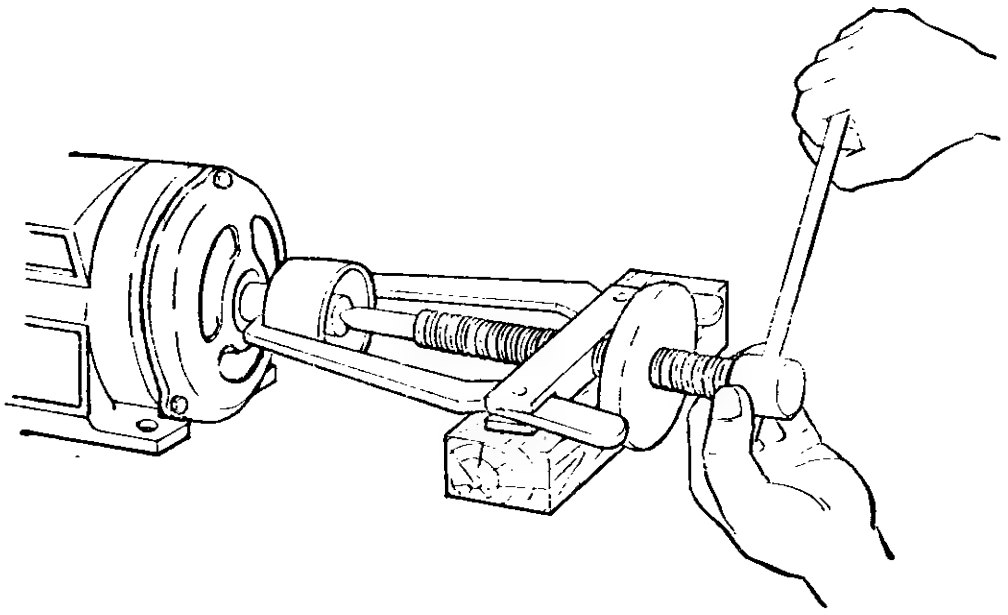


图 1-18　用两爪拉马拆卸皮带轮或联轴器

机轴的中心；如果轴头埋在皮带轮或联轴器里面因而丝杠尖端不能顶着轴头时，可以用一段直径略小于轴径的圆钢垫入丝杠尖端与轴端面间。受力点应选准，必须均匀。爪杠下面衬垫木块，以防止用力时拉马随转轴一起转动。如皮带轮或联轴器较紧，一时拉不下来，切忌硬卸，以免损坏皮带轮或联轴器。这时可用汽油滴入轴端，待数小时以后再拆，或用喷灯将皮带轮或联轴器四周加热，使其膨胀，就可取下。不宜用锤子直接敲打皮带轮或联轴器来拆卸，因敲打会使皮带轮或联轴器碎裂、使轴变形、端盖受损等。

(2) *拆卸刷架，拆卸风扇和风罩*　对于绕线转子式电动机，要把刷握及电刷卸下，先松脱刷架弹簧，抬起或卸下电刷。电刷易碎，取下后须用纸包好并妥善放好。然后逐一取下刷握和刷架。拆卸时应做好记号，以便于装配。

封闭式电动机在拆卸皮带轮或联轴器后，就可把外风罩螺栓松脱，把风罩取下。然后把转轴尾端风扇上的定位螺栓

或销子松脱或取下，用金属棒或锤子在风扇四周均匀轻敲，风扇就可松脱下来。小型电动机的风扇一般可不用拆下，可随转子一起抽出。但如果后端盖内的轴承需加油或更换时，就必须拆卸，这可把转子连同风扇放在压床中一起压出。近年生产的电动机如 JO_2、JO_3 型等，风扇是用塑料制成的，内孔有罗纹，可用热水使塑料风扇膨胀后卸下。

(3) *拆卸轴承盖和端盖*　先把轴承(滚动轴承)的外盖螺栓松下，拆下轴承外盖(近年生产的 JO_2，JO_3 型电动机没有轴承外盖)。然后松开端盖的紧固螺栓，在端盖与机座的接缝处做好记号(便于装配)，随后用锤子均匀敲打(不可直接敲打，须衬以垫木)端盖的四周，把端盖取下。大型电动机端盖较重，应先把端盖用起重机吊住，以免突然脱下跌碎端盖或碰

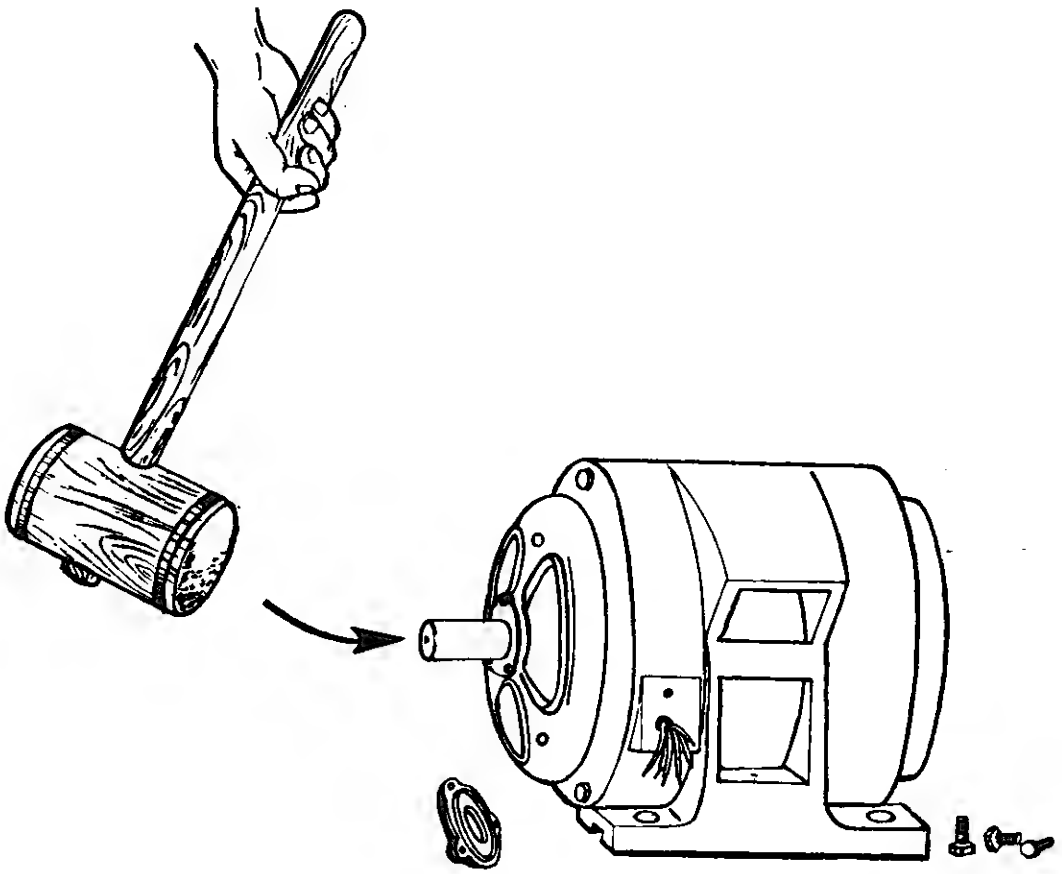
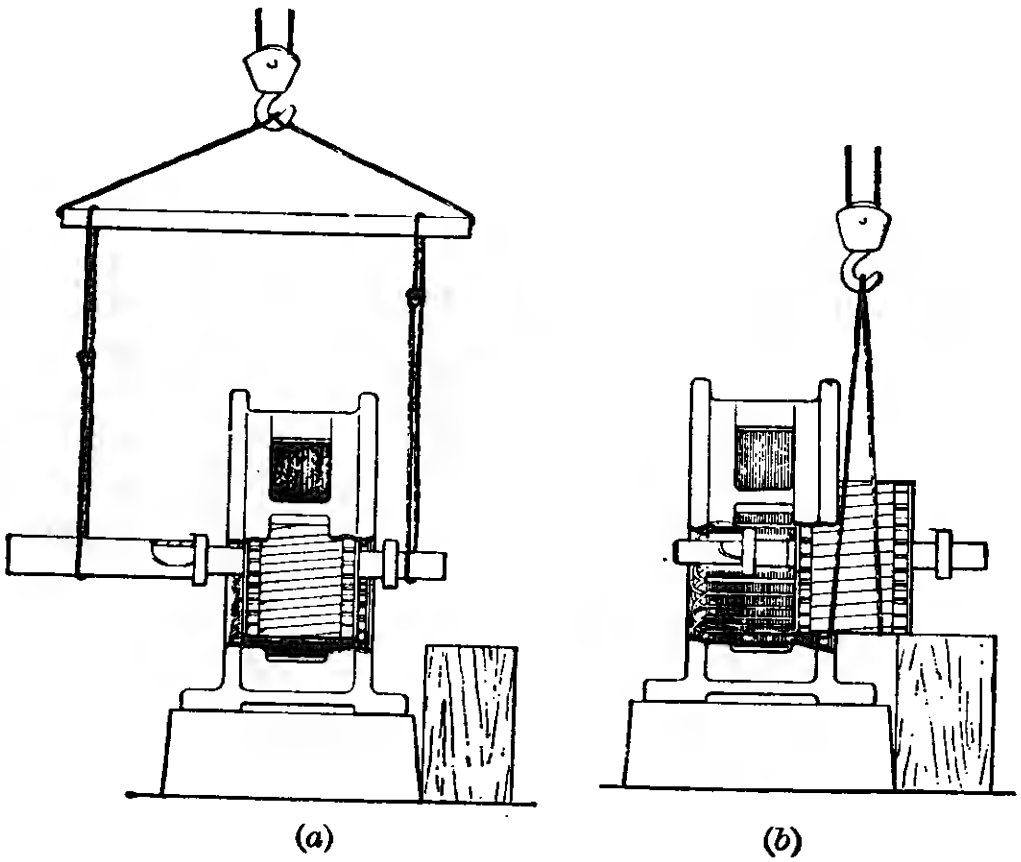


图 1-19　小型电动机的拆卸方法

坏绕组。对于小型电动机，可先把轴伸端的轴承外盖卸下，再松下后端盖的紧固螺栓(如风扇是装在轴伸端，则须先把后端盖外面的轴承外盖取下)，然后用木锤敲打轴伸端，这样就可以把转子连同端盖一起取下，如图 1-19 所示。

(4) 抽出转子　小型电动机的转子，如上所述，可以连同后端盖一起取出。抽出转子时，应小心缓慢，特别要注意不可歪斜以致碰伤定子绕组；对于绕线转子式电动机，还要注意滑环面和刷架等。对于大型电动机，转子较重，不能用手抽出，可用起重设备将转子吊出，如图 1-20 所示，用钢丝绳套住转子两端轴颈，将转子慢慢吊出。为防轴颈损伤，应在钢丝绳与轴颈间衬一层纸板；转轴的一端可套一段钢管将转轴接长，如图 1-20(*a*) 所示。当转子的重心已移出定子时，应在转子下



(*a*)　　(*b*)

图 1-20　用起重设备吊出转子

面用垫木搁住转子，并在定子与转子的间隙塞入纸板垫衬，然后将钢丝绳改吊住转子（亦应衬垫纸板），如图 1-20(*b*) 所示，这样就可将转子全部吊出。

3. 电动机的装配

电动机的装配工序大体上和拆卸顺序相反。在装配端盖时，可用木锤（不能用铁锤）均匀敲击端盖四周，不可单边着力；拧紧端盖螺栓时，也要四周均匀用力，上下左右逐步拧紧，否则将造成耳攀折断、装配偏心（三眼不准）等故障。绕线转子式电动机装上刷架、刷握、电刷等，应注意滑环与电刷表面应光滑清洁，密切吻合，刷握内壁应清洁，弹簧压力应调整到均等。电动机装配完毕后，用手转动电动机的转子，应转动灵活而均匀，无停滞或偏重现象，如发现这些情况，应即调整纠正。

第二章　三相异步电动机的绕组

绕组是电动机的电气结构核心。电动机长期运行后，由于绝缘老化、受潮、化学气体的腐蚀以及机械力或电磁力的冲击，绕组将受到损伤；过载、低电压或单相运行等不正常运行都会引起绕组故障。电动机的绕组有故障后，电动机就不能正常运行，严重故障就使电动机失去继续工作的能力。绕组故障不仅是电动机的常见故障，而且是主要的故障。因此，绕组的修理是修理电动机的重要内容，也可以说是修理电动机的关键。为了掌握绕组的修理技术，有必要先了解一下绕组的结构。

在第一章中已经讲过，异步电动机中的绕组有定子绕组和转子绕组两部分；在鼠笼式电动机中，转子绕组结构很简单，故障也较少；在绕线转子式电动机中，转子绕组虽较为复杂，但仍比定子绕组简单。所以绕组问题主要是定子绕组问题，书中提到绕组而不指明定子或转子时也就是指定子绕组。

三相异步电动机中的定子绕组有成形绕组和散开绕组两种，成型绕组多用于大中型电动机中，绕组的线圈绕制成型后经浸漆烘干装入定子槽内，定子槽是开口槽。小型电动机中定子一般是半开口槽，采用散开绕组，线圈绕好后嵌入槽内，再浸渍绝缘漆。本章以介绍小型电动机的绕组为主。

第一节　有关绕组分布的一些基本知识

三相异步电动机的定子绕组共有三组绕组，每相一组。每

相绕组各由若干个线圈联接(串联和并联)而成，嵌在定子槽内。为便于分析绕组，下面先介绍一些必要的基本知识。

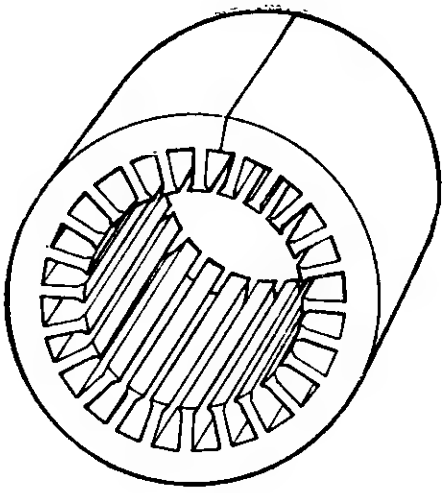
1. 绕组展开图

表示绕组的结构一般用绕组展开图，设想把定子切开，如图 2-1(a)，把它拉平，就如图 2-1(b)(为清楚起见，(a)中未绘绕组，(b)中也只用一根线来表示线圈)，把这平面的绕组用原理图表示出来，就如图 2-1(c)(定子铁心略去不绘)，这就是常见的定子绕组展开图。这样，就把圆筒形的定子绕组化为平面图。图中用三种线条分别表示三相绕组，并且只用一条线来表示线圈边。从绕组展开图上可以看出各个线圈的联接和线圈边是嵌在哪个定子槽中。

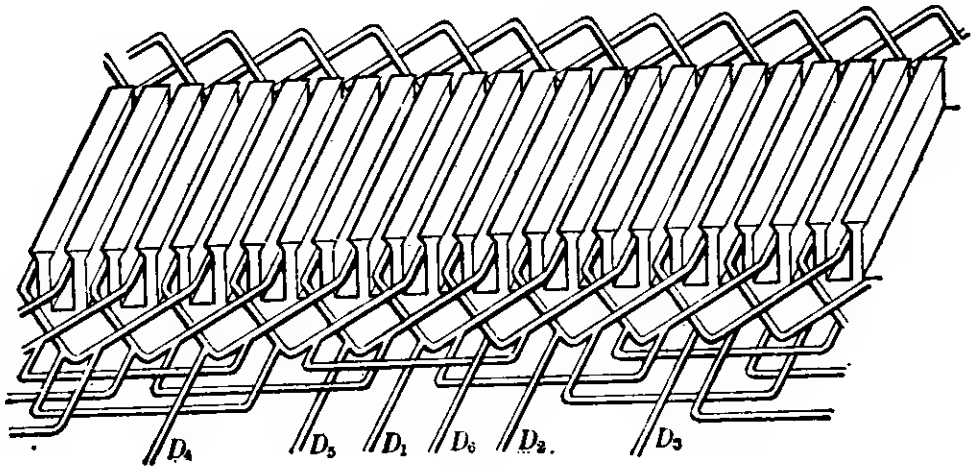
2. 绕组安排的原理

三相异步电动机中的旋转磁场是在定子绕组中（通入三相电流时)形成的，所以定子绕组的安排，应能产生所需要的磁场(磁极)。电动机中的磁极是沿圆周均匀分布的，并且相邻两个极是异极性。图 2-2 表示一只有 12 个定子槽的四极电动机的定子绕组，图2-2(a)表示由 2 只线圈组成一相绕组，如果 2 只线圈的联接使电流方向如图中箭头所示，可以看出必定产生如图所示的四个极；换一种方法，用 4 只线圈如图 2-2(b)那样联接，同样也能产生如图所示的四个极。前一种方法每个定子槽中只有一条线圈边，称为单层绕组；后一种方法每个定子槽内有两条线圈边，称为双层绕组。

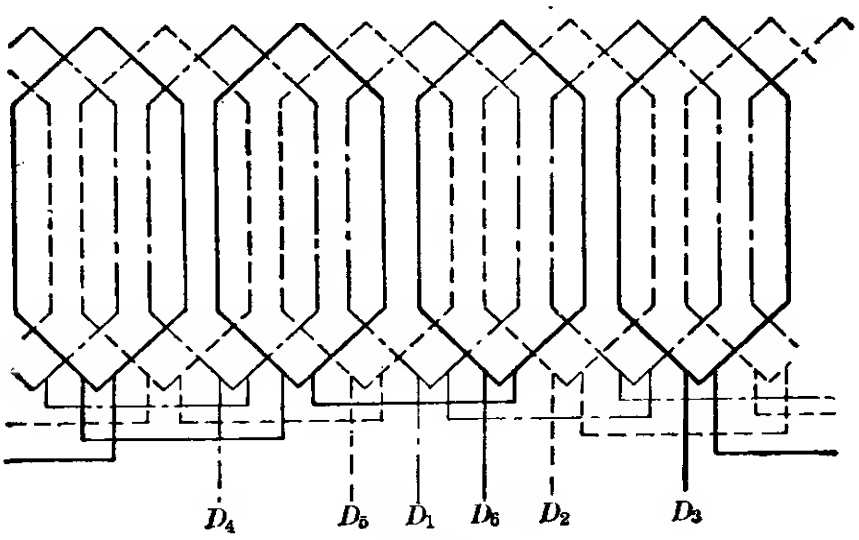
以上是一相的情况，其他两相绕组也相同，只是三相之间必须相互间隔 120° 电角度。每一对磁极的电角度是 360°（一个磁极占 180°)，四极电动机中定子共应占有 720°，共有 12 个槽，故相邻两槽之间的电角为 60°。现在设 A 相从第 1 槽开始，B 相 就应从第 3 槽开始，C 相应从第 5 槽开始。图 2-2



(a)

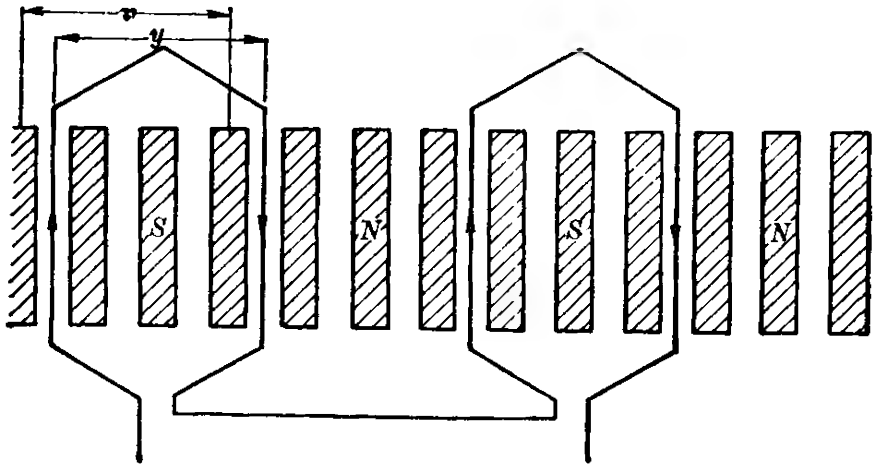


(b)

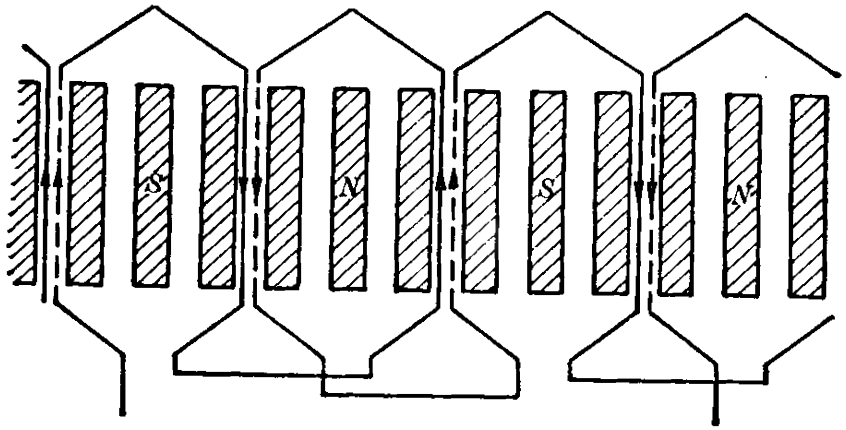


(c)

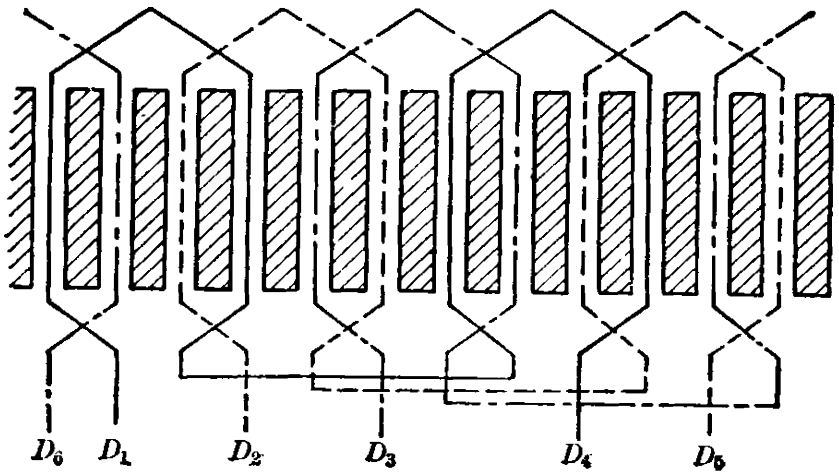
图 2-1　定子绕组展开示意



(a)



(b)



(c)

图 2-2　绕组内形成磁极的示意

(c)表示按第一种方法安排的三相绕组展开图。

绕组有多种形式，常用的有单层同心绕组、单层链式绕组、单层交叉式绕组、双层迭绕组，还有用于绕线转子的波绕组等，将在下面分别介绍。

3. 有关绕组结构的几个基本概念

(1) 极距　每极所占的槽数或每极下的气隙长度，用字母 τ 表示：

$$\tau=\frac{Q_1}{2p}\ \text{[槽]（用槽数表示时）}$$

或

$$\tau=\frac{2\pi D_1}{2p}\ \text{[厘米]（用长度表示时）}$$

上式中 Q_1 为定子铁心槽数，D_1 为定子内径，p 为极对数。例如图 2-2 的 12 槽四极电动机，$\tau=\frac{12}{4}=3$ 槽。

(2) 节距(跨距)　一只线圈的两条边之间相隔的槽数，用字母 y 表示。例如图 2-2(a)，一只线圈的一条边在第 1 槽，另一条边在第 4 槽，中间相隔 3 槽，即 $y=3$，也可称节距 1—4。

节距有全节距和短节距，全节距就是节距等于极距，例如图 2-2，$y=3=\tau$，所以是全节距。短节距绕组的节距小于极距。例如，36 槽四极电动机的极距为 9，如线圈的一条边在第 1 槽，另一条边在第 8 槽，则节距为 1—8，即 $y=7$，这就是短节距。

(3) 每极每相槽数　每一相绕组的一个极所占的槽数，用字母 q 表示：

$$q=\frac{Q_1}{2pm}\ \text{[槽/相/极]}$$

上式中 m 为相数。例如图 2-2 所示的 12 槽四极电动机，

$q=\frac{12}{4\times3}=1$，即每一个极每一相绕组占1槽，图2-2(*c*)所示的绕组展开图就说明这点。

(4) 极相组　每一相在一个磁极下的线圈串联成的线圈组，称为极相组(也称"联")。例如图2-2(*a*)，每一极相组包含一个线圈，每相有两个极相组；图2-2(*b*)每一极相组也包含一个线圈，但每相有四个极相组；即单层绕组每相极相组的组数等于极数的一半，而双层绕组每相极相组的组数则等于极数。有的单层绕组的一个极相组由两个"半组"组成，如交叉式链形绕组。

第二节　单层绕组

单层绕组就是每个定子槽内只嵌放一个线圈边，线圈的只数等于定子槽数的一半。单层绕组的优点是工艺比较简单，缺点是电磁波形不够理想，一般用于小容量电动机中。

单层绕组按线圈的形状和端接部分排列方法的不同，有同心绕组、链形绕组和交叉式绕组等几种。

1. 同心绕组

同心绕组是由数只宽度不同的线圈，一只套在另一只外面同心地串联组成，如图2-3。在单层同心绕组内，每一个线圈组形成一对磁极（有时一个线圈组可分为两个"半组"，如图2-3(*b*)所示），因此在一般情况下绕组有$3p$个线圈组(极相组)，每个线圈组由q只线圈同心地串联

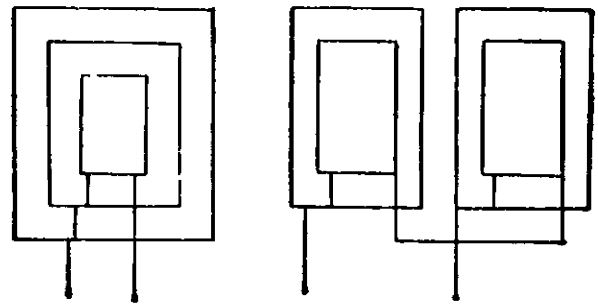


图2-3　同心绕组

在一起。

当极对数 p 为偶数时，则整个电动机绕组有偶数个线圈组，例如四极电动机的极对数为 2，整个绕组有 6 个线圈组；八极电动机的极对数为 4，就有 12 个线圈组。线圈的端接部分安排在两个平面上，即把半数线圈组先嵌入槽内，端接部分放置在一个平面上；另一半线圈组后嵌，端接部分放在先嵌好的线圈组的端接部分上面。如图 2-4 所示的 24 槽四极电动机的绕组就是这种安排方式。按这种安排方式，每一相两个线圈组的端接部分不在一个平面上，两个线圈组在位置上是不对称的，相与相之间则是平衡的。这种绕组称为单层双平面同心绕组。图 2-5 所示 36 槽四极电动机的绕组也是这种安排方式。

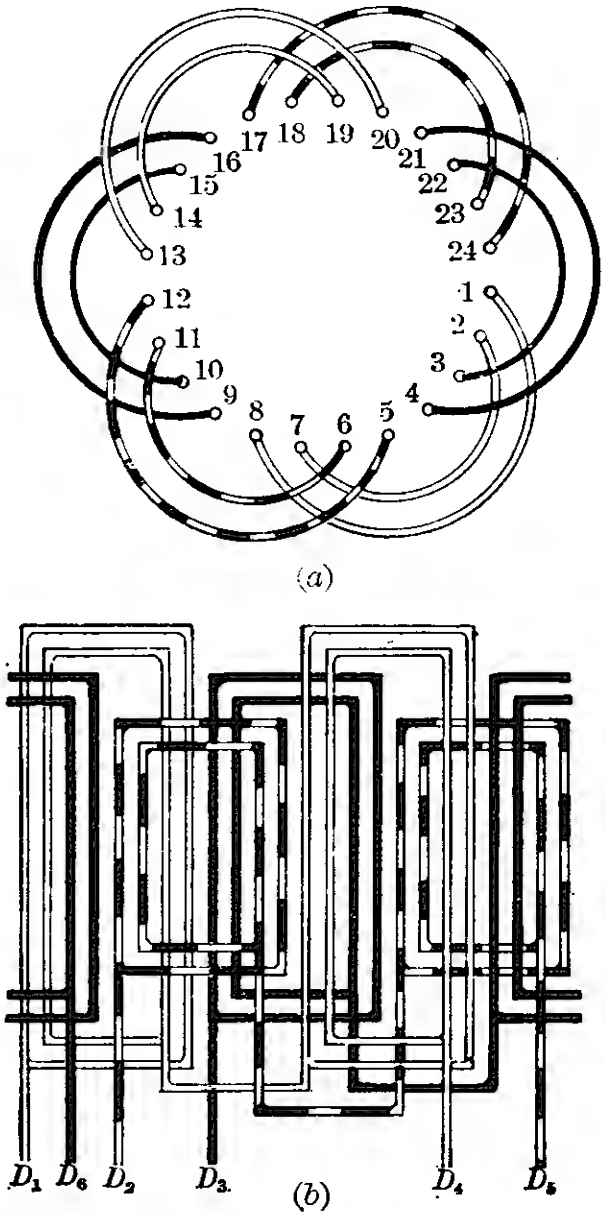


图 2-4　三相四极 24 槽同心绕组的安排方式(节距 1—8、2—7)

当极对数 p 为奇数时，则整个绕组有奇数个线圈组。因这时 $3p$ 亦为奇数，所以不能象上面所讲双平面同心绕组那样安排，而略有不同。这时所有线圈组的端接

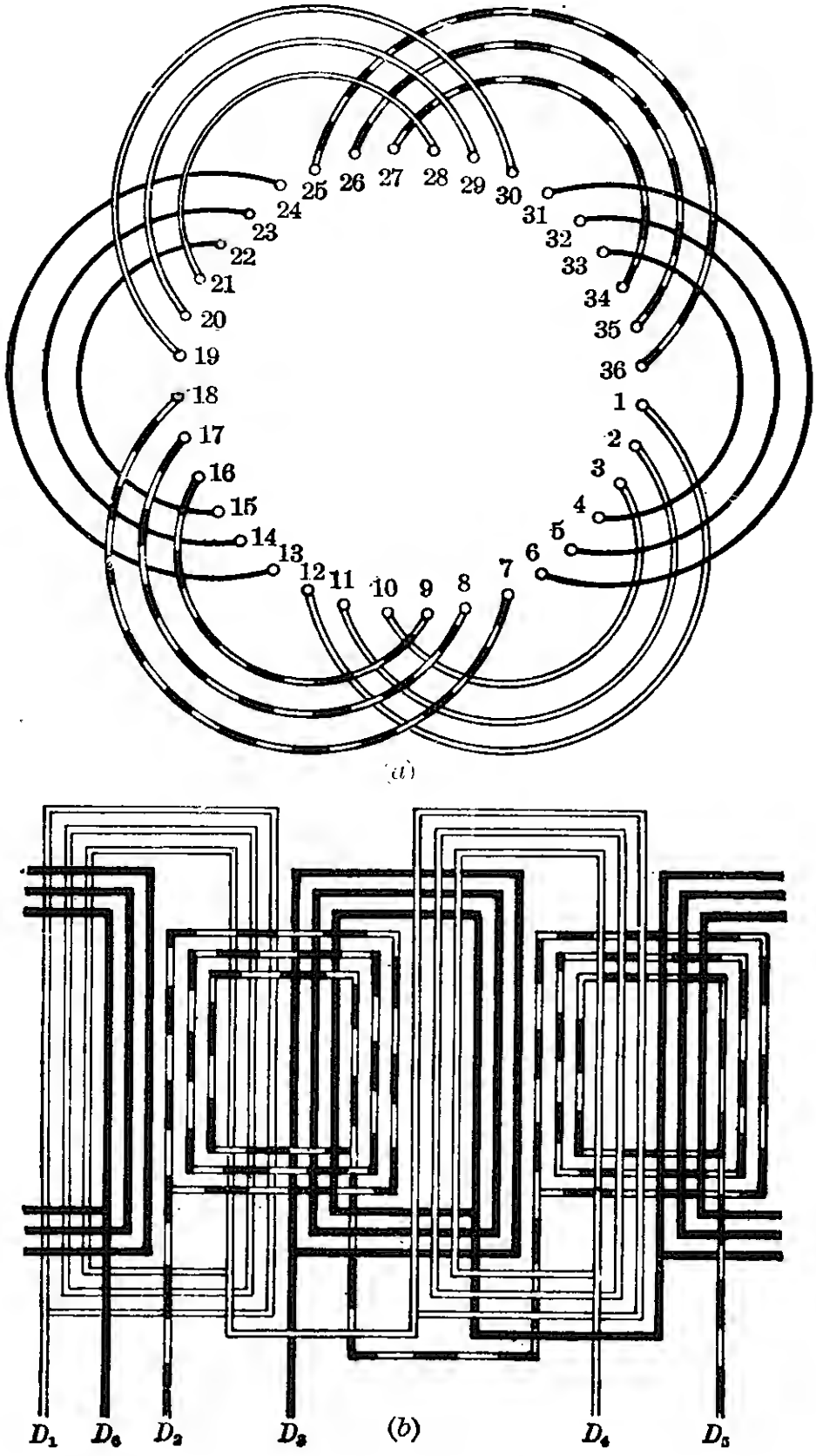


图 2-5　三相四极 36 槽同心绕组的安排方式(节距 1—12、2—11、3—10)

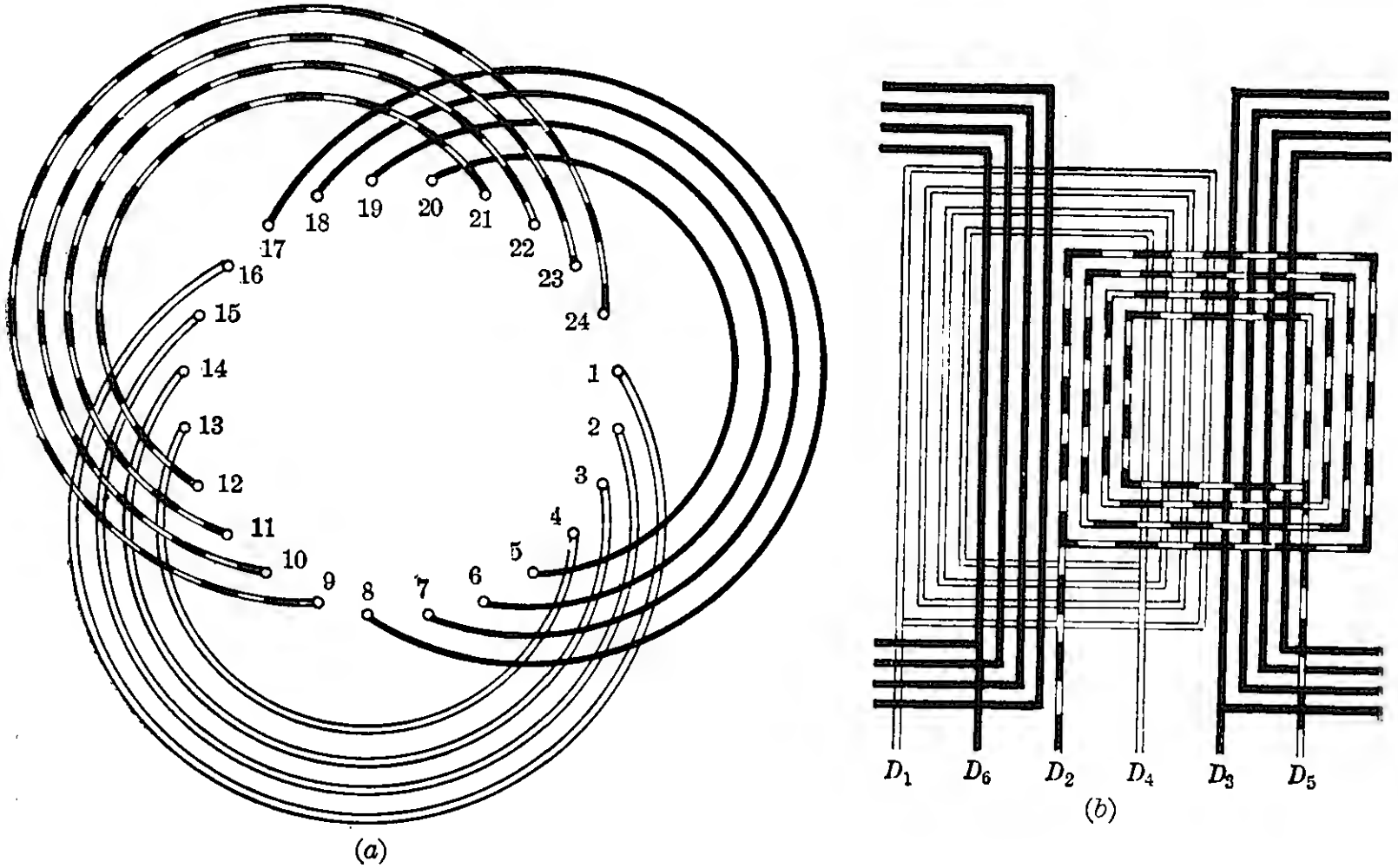
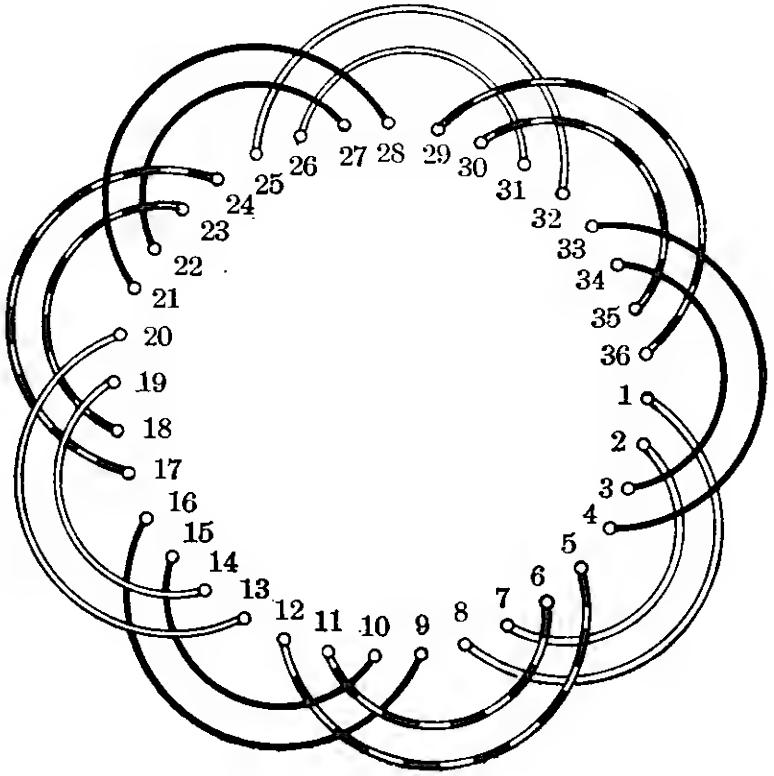
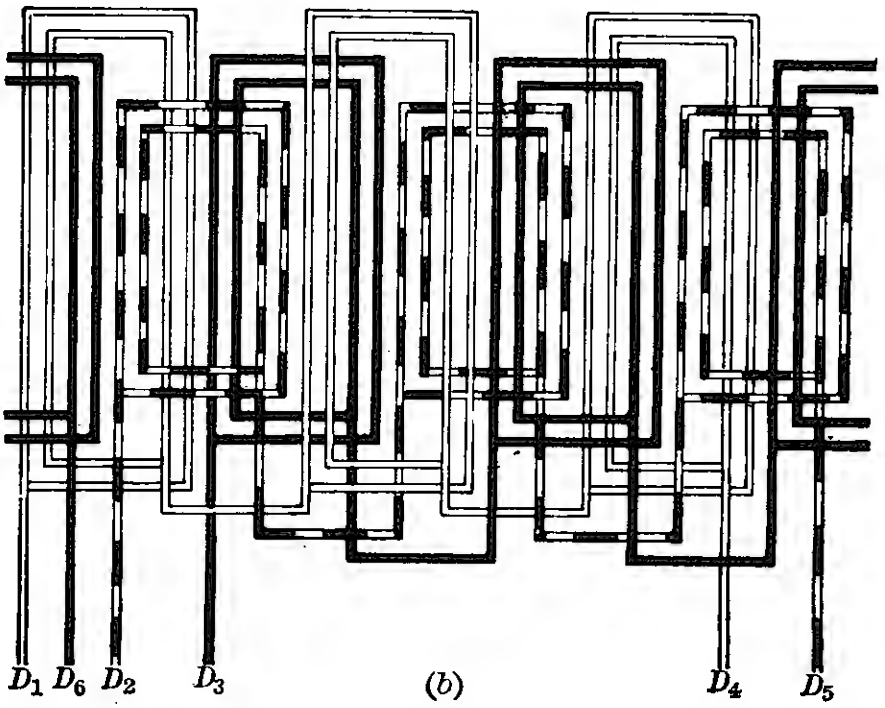


图 2-6　三相两极 24 槽两平面同心绕组的结构



(*a*)



(*b*)

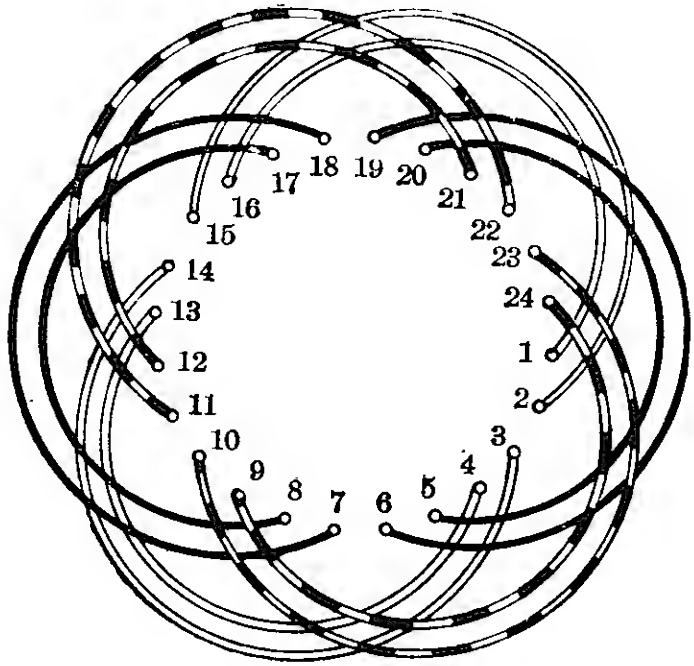
图 2-7　三相六极 36 槽两平面同心绕组的结构(节距 1—8、2—7)

部分也分别放置在两个平面上，但其中一个线圈的端接部分处在两个平面上，端接部分是弯曲的。图 2-6 所示的三相两极 24 槽两平面同心绕组的结构图，其中有一个线圈组是弯曲的。这种绕组是不平衡绕组，一相内几个极下的线圈组是不对称的，相与相之间也是不对称的。这种绕组一般只用于小容量电动机中。图 2-7 是三相六极 36 槽两平面同心绕组的结构图，线圈组的节距为(1—8，2—7)，绕组共有 9 个线圈组，每个线圈组由 2 只同心线圈串联而成，其中有一个线圈组(29、30、35、36 槽)的端接部分是弯曲的。

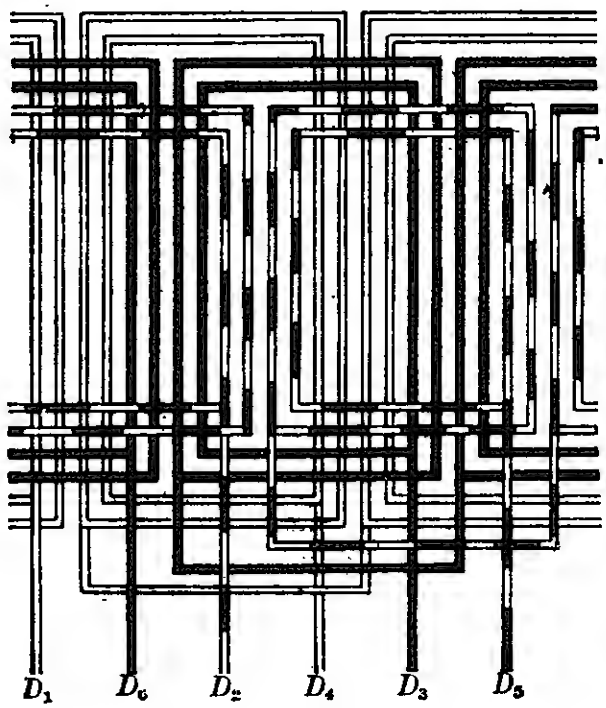
如果把图 2-6 绕组中每个线圈组的一半线圈的端接部分折向另一边，就是把一个线圈组分成两个线圈组，使一相线圈组的端接部分占一个圆周，放在一个平面上。这样，三相绕组的端接部分分别放在三个平面上，称为三平面同心绕组，在极对数 p 为奇数的情况下，可以避免使用弯曲的线圈组。这种绕组，相与相之间在位置上是不对称的，所以是不平衡绕组。整个绕组有 $3\times 2p$ 个(偶数)线圈数，每个线圈数由 $q/2$ 只同心线圈串联而成。三平面同心绕组适用于 $q=4$、6 的两极、六极电动机，图 2-8 是三相两极 24 槽三平面同心绕组的结构图。

同心绕组的特点是：各个线圈宽度不同，因此制作绕线模较为复杂；绕组不对称；组成并联支路时不易平衡；嵌线较方便，可减少嵌线工时。

为了克服绕组不对称的缺点，有些型号电动机中采用同心线圈，而用链形绕组嵌线方法，即同心式链形绕组，使每只同心线圈的端接部分都处在两个平面上，这样，绕组就成为对称的了，如图 2-9 所示的 JQB 潜水电泵绕组展开图。JO_2 型两极电机也多采用这种同心式链形绕组。



(*a*)



(*b*)

图 2-8　三相两极 24 槽同心绕组的结构

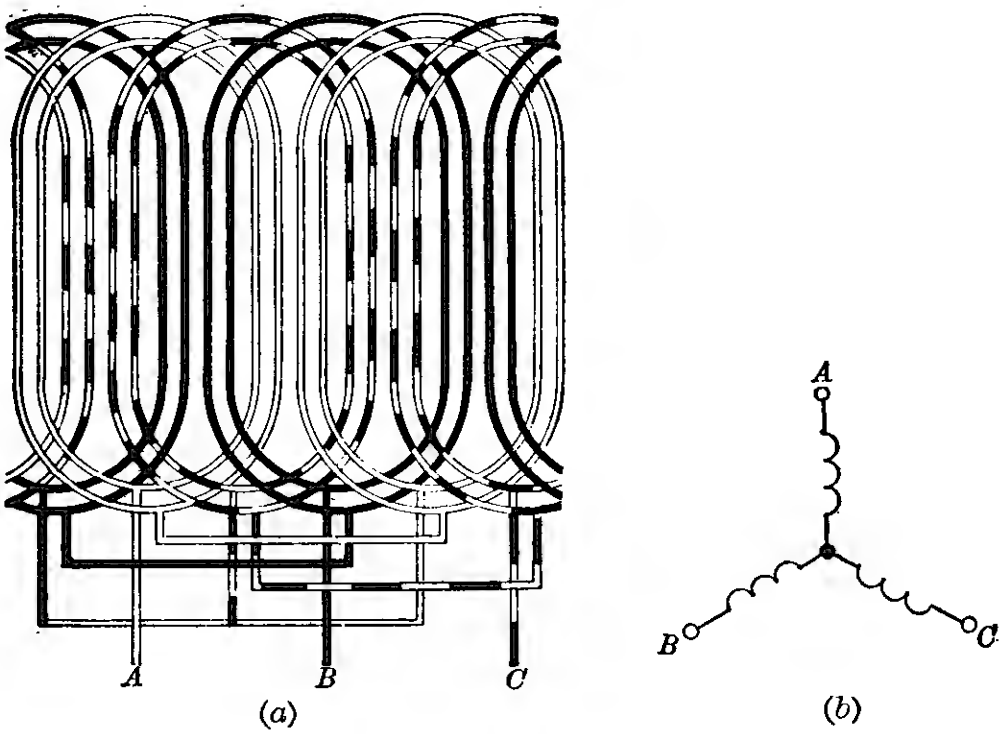


图 2-9　三相两极(24 槽)同心链形绕组

2. 链形绕组

单层链形绕组是比较常用的一种绕组，绕组的各个线圈宽度相同（见图 2-10），制作绕线模和绕线较为方便，线圈的端接部分是弯曲的，彼此重迭。这种绕组是对称的，相与相也是平衡的，可以构成并联支路。这种绕组在嵌线时要把一部分线圈的一条边暂时吊起，不能同时落槽，待所有线圈的一条边都嵌好后方能把吊起的线圈边放入槽内（详见第四章第三节），因此嵌线手续较繁。

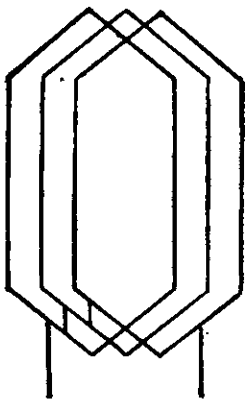


图 2-10　链形绕组

单层链形绕组适用于 $q=2$ 的四极和六极电机，线圈组由形状相同的 2 只线圈串联而成，图 2-11 为三相四极 24 槽单层链形绕组展开图，线圈节距为 1—7、2—8。这种绕组的线圈组的端接部分是互相重迭的，线圈内

2只线圈的端接部分是交叉的。

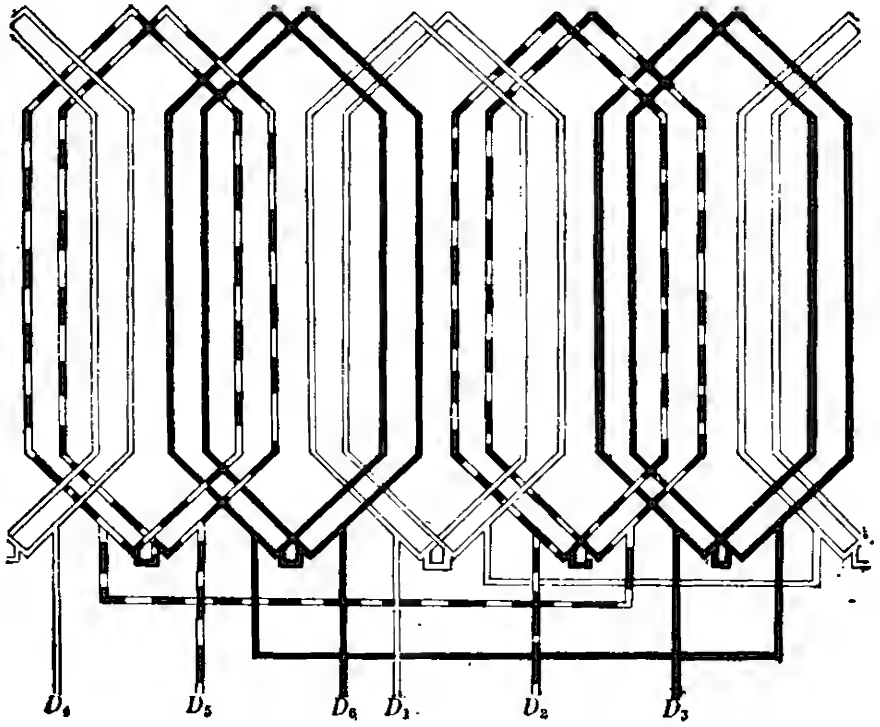


图 2-11　三相四极(21槽)单层链形绕组展开图

如果将绕组的结构略加变化，就得出另一种形式的链形绕组。如图 2-12(a)示三相四极 24 槽单层链形绕组的一相排列情况，如果把线圈组的两只线圈分开，变成图 2-12(b) 的形式，即把原来各由节距为 1—7、2—8 的线圈构成的两个线圈组变为节距为 2—7 的四只线圈。从图中可以看出，只要各只线圈的头尾按一定方式联接，槽内线圈边的电流方向仍与原来一致。这样改变，使绕线和嵌线都较为方便，而且节距短了一槽，端接部分相应缩短，节省了铜材；但接头数目增多，是其缺点。图 2-13 所示就是图 2-11 所示的绕组按上述改变后的绕组形式，比较两图可知在电和磁的关系上两者是相同的。

用单只线圈构成链形绕组，只在节距为奇数的情况下才

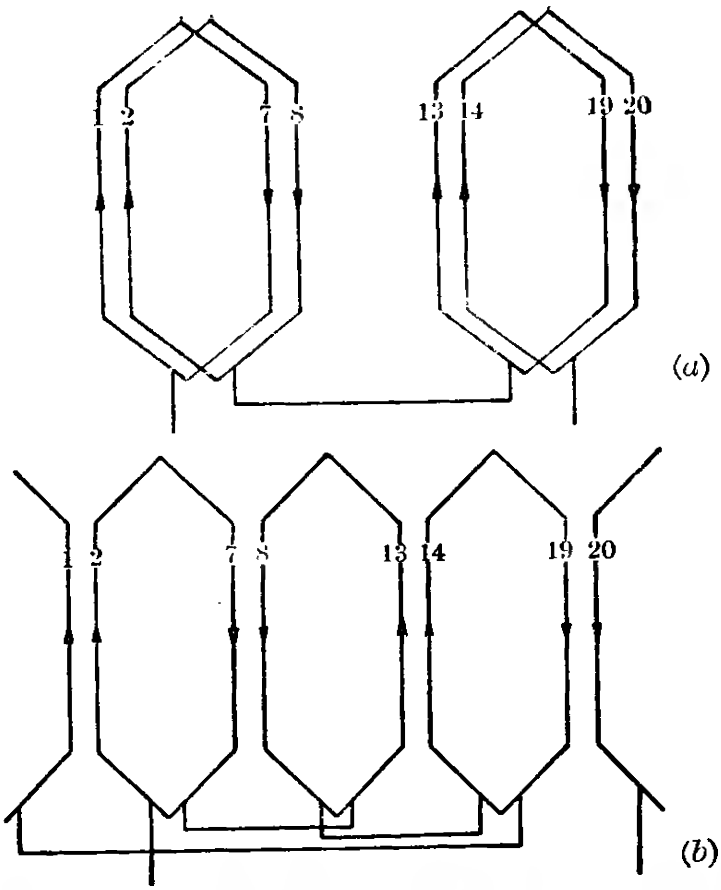


图 2-12　链形绕组形式的变化

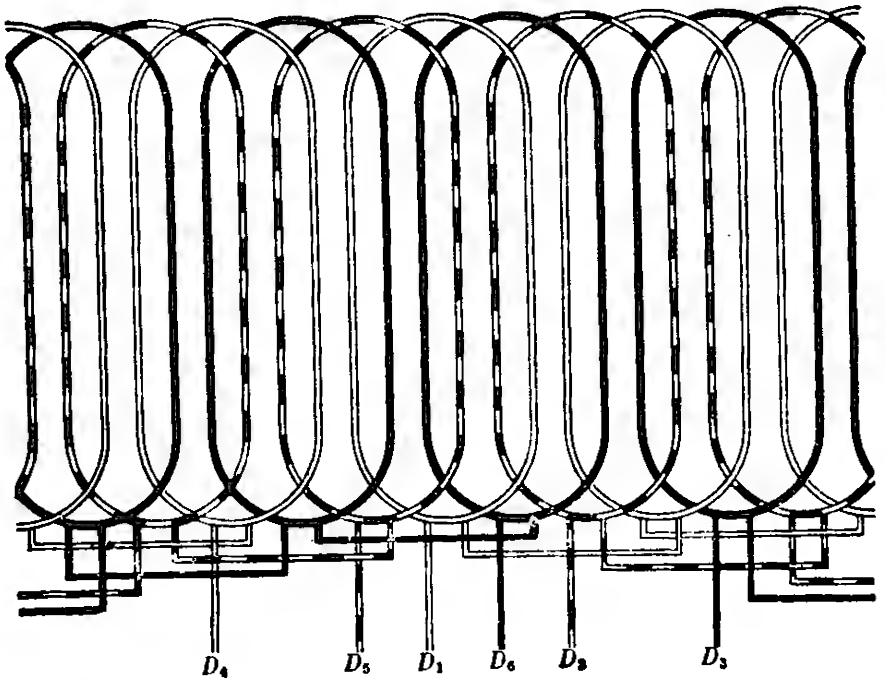


图 2-13　三相四极(24 槽)单层链形绕组的另一种形式

可能，即线圈的两条边必须从单数槽跨至双数槽，否则就不可能构成。

3. 交叉式链形绕组

交叉式绕组的线圈组由两个“半组”构成，它的形式如图2-14所示，两部分线圈具有不同的节距。这种绕组是常用的一种绕组结构形式，如JO_2型中有些型号就是采用这种绕组。图2-15表示三相四极36槽交叉式链形绕组展开图，2只串联线圈的节距为8，1只线圈的节距为7，即2/1—9，1/1—8。

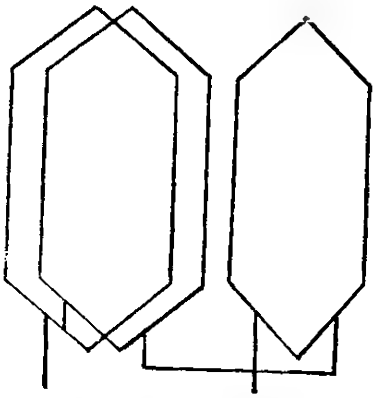


图 2-14　交叉式链形绕组

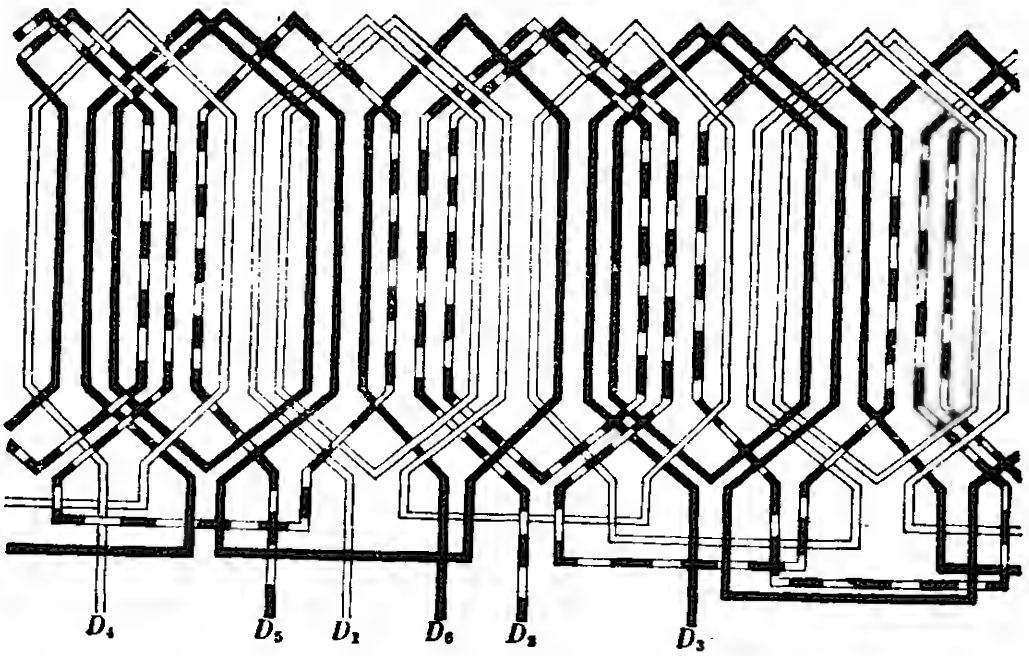


图 2-15　三相四极 36 槽交叉式链形绕组展开图

图 2-16 示单层链形绕组(图 2-16 (a))与单层交叉式绕组(图 2-16(b))的一相展开图。由图可知，两者在电和磁的关系上是相同的，但链形绕组三个线圈的节距都是 1—10，交叉式绕组的节距为 2/1—9，1/1—8，共缩短了 4 槽，所以交叉式绕组的优越性主要在于节省铜材。

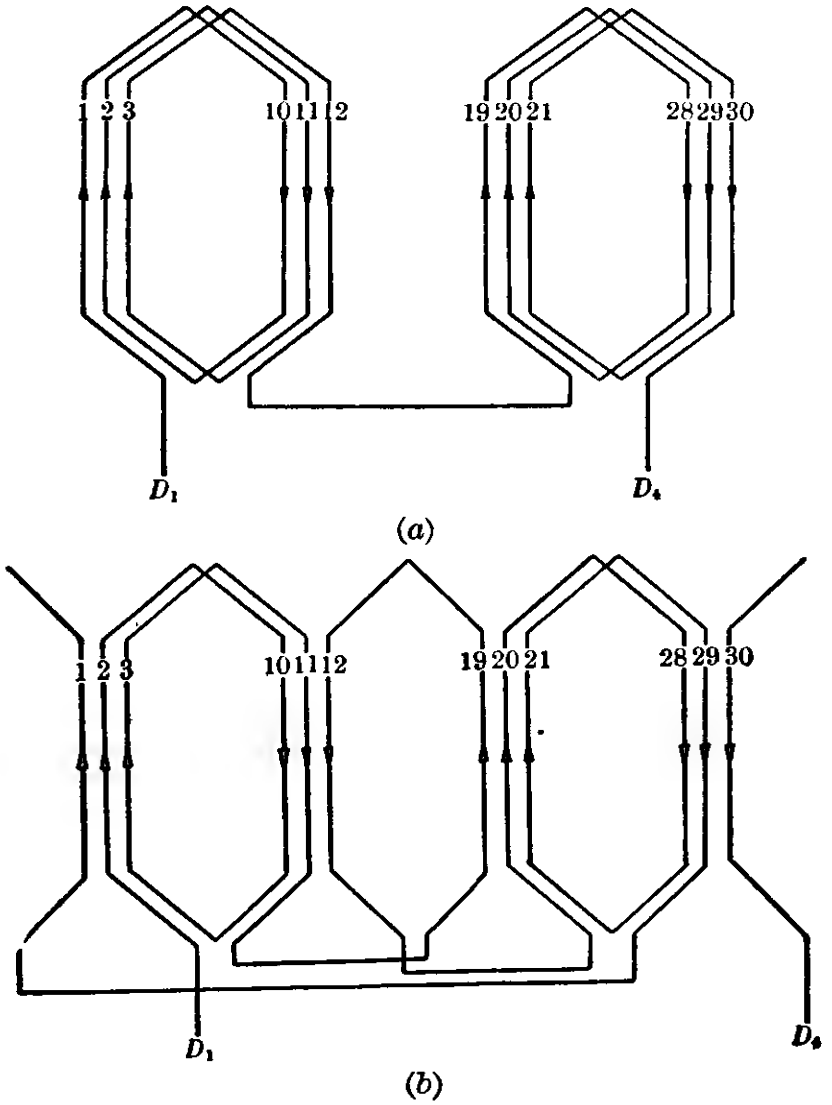


图 2-16　交叉式绕组与链形绕组的比较

第三节　双 层 绕 组

双层绕组的线槽内，每槽嵌放两条线圈边，一只线圈的一

条线圈边放在某一槽内下层，另一条边放在另一槽内上层。双层绕组有迭绕式和波绕式两种，如图 2-17。波绕组多用于大型电动机的定子绕组、直流电机的电枢绕组、绕线转子式异步电动机的转子绕组等，多采用扁电磁线绕制线圈。中小型电动机中的定子绕组一般采用双层迭绕组。双层绕组的线圈只数等于槽数。

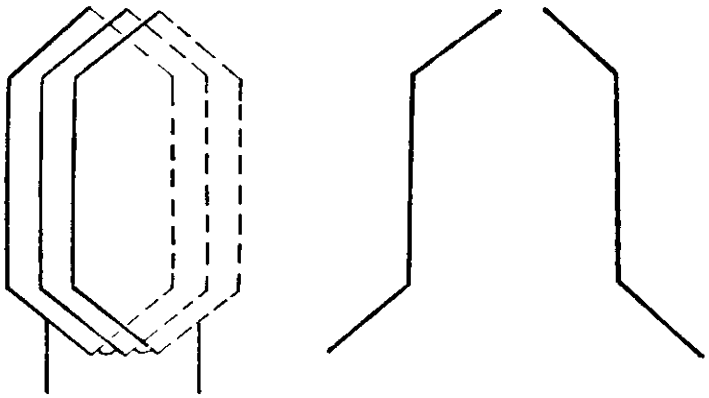


图 2-17

(a) 迭绕组； (b) 波绕组

1. 每极每相槽数 q 为整数的双层迭绕组

在每极每相槽数 q 为整数的情况下，每个线圈组（极相组）由 q 只线圈串联组成，故共有 $2pm$ 个线圈组。按节距的不同，有全节距双层绕组和短节距双层绕组。

(1) 全节距双层绕组　双层绕组可以看成由两个单层绕组构成；当线圈采用全节距时，双层绕组和单层绕组在电和磁的关系上是差不多的，性能也相似，而在工艺上则双层绕组较单层绕组为复杂。所以全节距双层绕组现在很少采用。图 2-18 表示一个三相两极 18 槽全节距双层绕组的排列及其相段分布的展开图。

(2) 短节距双层绕组　短节距双层绕组的特点是线圈采用短节距。图 2-18 所示的全节距双层绕组，其节距为 9。现

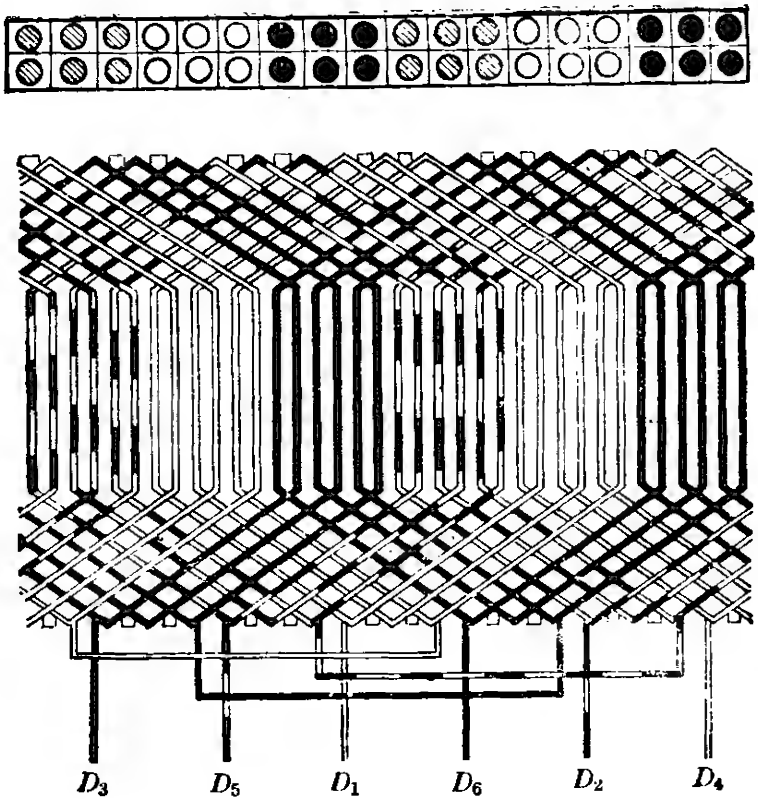


图 2-18　三相两极全节距双层绕组及其相段分布

在如把节距缩短到全节距的 4/5，取节距为 7，即缩短 2 槽。这样就得到图 2-19 所示的三相两极短节距双层绕组及其相段分布。将图 2-18 和图 2-19 的相段加以比较（见图 2-20），可以看出，全节距双层绕组每极每相的线圈边分布在三槽内，槽内上下层线圈边都是同相的，短节距双层绕组每极每相的线圈边分布在五槽内，其中有一个槽内上下层线圈边是同相的，其他四个槽内都有不同相的线圈边。在短节距双层绕组中，上层线圈边对下层线圈边旋转了一个角度，这个角度决定于缩短的槽数，一般以取全节距的 4/5 为最合适，对改善电动机的性能最有利。

短节距绕组的优点是：可以选用合适的节距，来改善电势的波形，削弱高次谐波的不利影响；当计算出的每槽导线根数

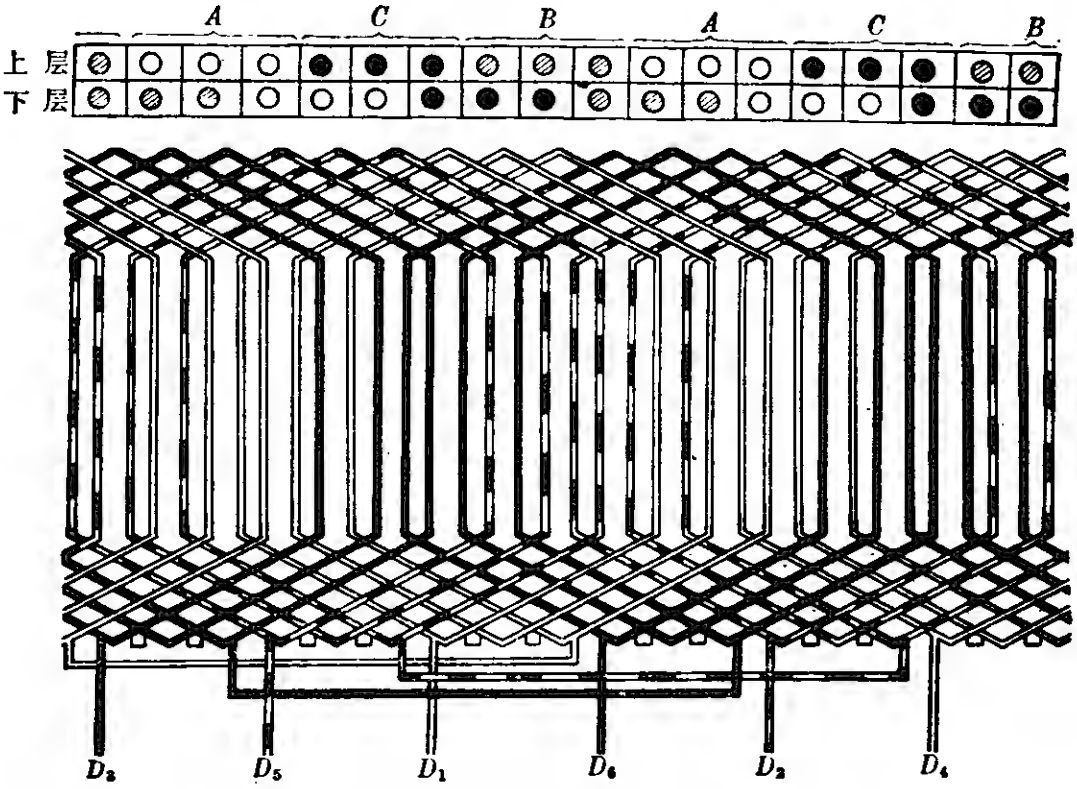


图 2-19　三相两极短节距双层绕组及其相段分布

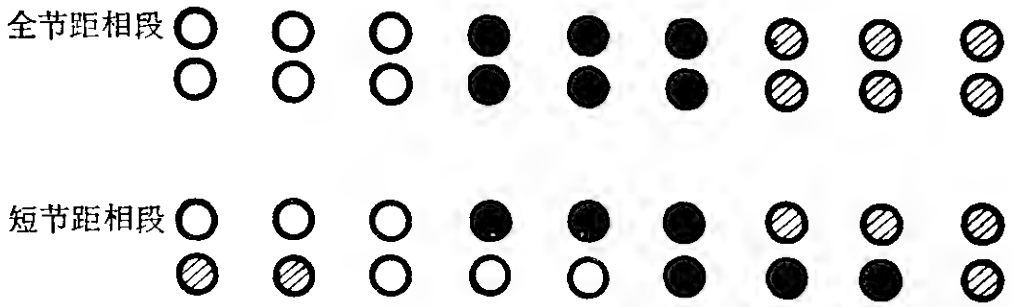


图 2-20　全节距和短节距的相段比较

不是整数时，可以选取节距来调整导线根数，例如计算得的根数为 12.5，可以取 13 根而适当缩短节距，仍可达到原计算要求；在单绕组多速电动机中，需要选取适当节距以适应几种极数时的情况；由于端接部分缩短，节省了铜线。由于短节距绕组有这些优点，所以在中小型异步电机的定子绕组中大多采用这种绕组。

2. 每极每相槽数 q 为分数的双层绕组

在双层绕组中，每个线圈组中串联线圈只数等于 q，如 q 为分数，因线圈数不可能是分数，因此要采用串联线圈只数不等的线圈组。决定串联线圈只数和绕组的排列，有下面几种方法。

(1) 电角度计算法　以一台三相四极 30 槽的定子为例来说明，方法如下：①画 30 个格子，代表 30 个线槽，如图 2-21 所示；②在任意两线槽中间画一条线，标上 X_1 作为起点；③依次标上每槽的电角度 $\left(\text{每槽电角度}=\dfrac{360p}{Q_1}=\dfrac{360\times2}{30}=24^\circ\right)$；④在刚大于 60°，120°，180°，240°，360° 等处各画

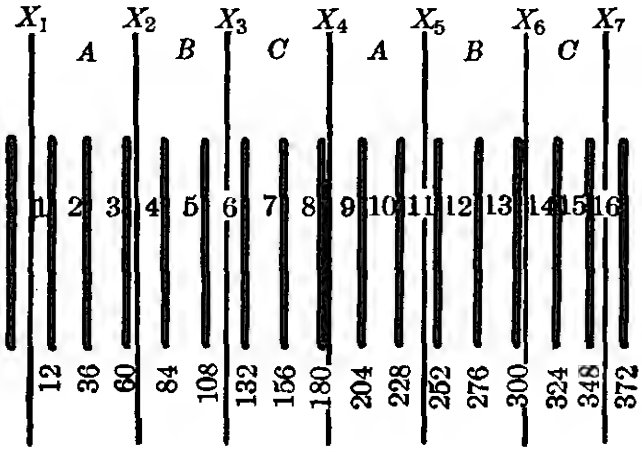


图 2-21　用电角度计算法安排分数槽绕组

一条直线，分别标上 X_2，X_3，X_4，…；⑤在 X_1 与 X_2，X_2 与 X_3，…各线间依次标上相序 $A,B,C,\cdots$，这样每两线之间的槽数就是线圈组的串联线圈只数。按相序把整个绕组排列写出：

$$\begin{array}{cccccc} A & 3 & 2 & 3 & 2 \\ B & 2 & 3 & 2 & 3 \\ C & 3 & 2 & 3 & 2 \end{array}$$

从绕组排列中可以看出，每极每相的线圈只数不相等，有

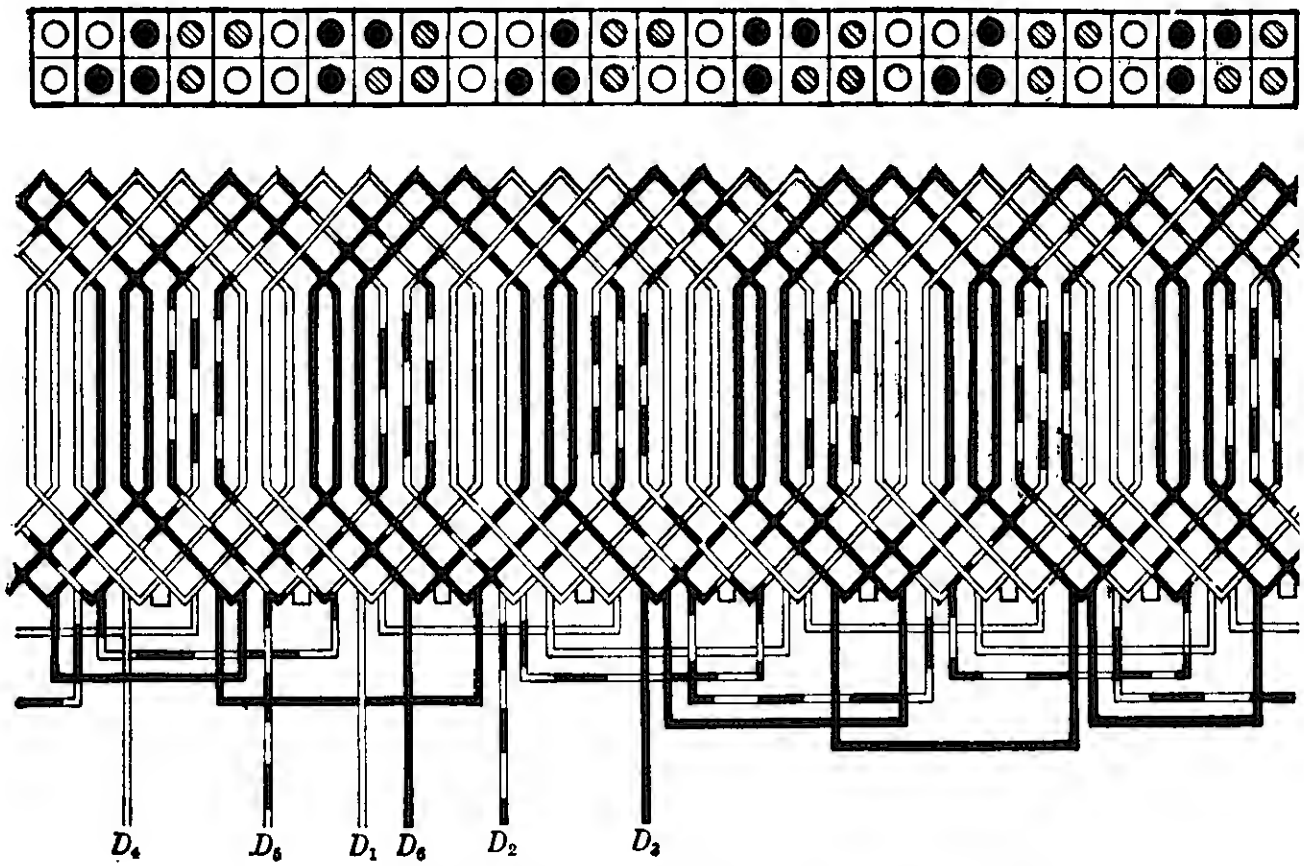


图 2-22　三相六极 27 槽分数槽双层绕组展开图及其相段分布

的线圈组中有 3 只线圈，有的线圈组中是 2 只线圈，但每相的线圈总数则是相等的，都是 10 只线圈。图 2-22 为三相六极 27 槽分数槽双层绕组的展开图及其相段分布，节距为 4。

(2) 最小公倍数法　以三相四极 54 槽为例来说明：

1) 先求出槽数和"相数乘极数"的最小公倍数。把 54 和 12 分解为质数的连乘：

$$54=2\times3\times3\times3;\qquad 12=2\times2\times3$$

$$\text{最小公倍数}=3\times3\times3\times2\times2=108$$

2) 以槽数除最小公倍数，即得出每个循环由不等线圈只数组成的线圈组数：

$$108\div54=2$$

即每个循环有 2 个包含不同线圈只数的线圈组；

3) 以相数乘极数再除最小公倍数，得出一个循环内共有线圈只数：

$$108\div12=9$$

即每个循环内有 9 只线圈；

4) 画出如图 2-23 的布置图，横格内共画 $3\times9=27$ 个圆

极	*A*	*B*	*C*
1	△ △ △ △ △ ●●●●●●●●	△ △ △ △ ●●●●●●●●	△ △ △ △ △ ●●●●●●●●
2	△ △ △ △ ●●●●●●●●	△ △ △ △ △ ●●●●●●●●	△ △ △ △ ●●●●●●●●
3	△ △ △ △ △ ●●●●●●●●	△ △ △ △ ●●●●●●●●	△ △ △ △ △ ●●●●●●●●
4	△ △ △ △ ●●●●●●●●	△ △ △ △ △ ●●●●●●●●	△ △ △ △ ●●●●●●●●

图 2-23　用最小公倍数法安排绕组

点，分作三相，共画四个横格(四极)，共计108个圆点。然后在第一个点上作一“△”符号，从左到右每隔二点作同样的符号。每格内的“△”符号个数即为每相每极线圈组内串联线圈的只数，可列表如下：

A	5	4	5	4
B	4	5	4	5
C	5	4	5	4

(3) 数学分析法　当q为分数时，q可表示为

$$q=a\frac{c}{b}=a+\frac{c}{b}$$

要构成每极每相槽数为q(分数)的绕组，必须取一部分线圈组由$a+1$只线圈组成，一部分线圈组由a只线圈组成。因$q=a+\frac{c}{b}=\frac{ab+c}{b}$，所以应该用$ab+c$只相邻的线圈，组成$b$个线圈组。设在$b$个线圈组内，有$x$个线圈组由$a$只线圈串联组成（小数线圈组），有$y$个线圈由$a+1$只线圈串联组成(大数线圈组)，则

$$ab+c=y(a+1)+xa$$

上式两边同除以a，得

$$b+\frac{c}{a}=x+y+\frac{y}{a}$$

以$x+y=b$代入上式，得

$$y=c,\quad x=b-c$$

由此可知，绕组必须由c个大数线圈组和$b-c$个小数线圈组构成，并以b个大小线圈组为一个循环，共有$\frac{Q_1}{ab+c}$个循环。只要得出了一个循环内大小线圈组的排列程序，整个绕组的排列便可得出，方法如下。

1) b 不是3的倍数——将 c 个大数 $(a+1)$ 均匀地写在一个圆周上，将圆周分成 c 个等分，然后把 $b-c$ 个小数(a)尽可能均匀地写在空档处。然后从任何一个数字开始，顺时针转向(或逆时针转向)按次序将圆周上的数字写出，写完一周即为一个循环，依次共写 $\frac{Q_1}{ab+c}$ 个循环，即为该分数槽绕组各极相组分布的序列，分别标上槽号与相序，整个绕组的排列便可得出。

【例一】 三相十极99槽电机，要构成分数槽绕组：

解：$q=\frac{99}{30}=3\frac{3}{10}=3+\frac{3}{10}$，$a=3$，$b=10$，$c=3$

要构成每极每相槽数 q 为分数的绕组，必须用 $ab+c=33$ 只相邻的线圈，组成 $b=10$ 个线圈组为一个循环。这10个线圈组是由 $c=3$ 个大数线圈组（由 $a+1=4$ 只线圈串联组成）和 $b-c=7$ 个小数线圈组（由 $a=3$ 只线圈串联）组成。把三个大数线圈组的数字写在圆周上，如图2-24，把圆周分成3个等分，然后把7个小数线圈组的数字尽可能均匀地写在空档处，则两个空档内各写两个小数线圈组的数字，一个空档内写三个小数线圈组的数字。从任何一点开始(如 n 点)顺时针转向，把各个数字写在如表2-1的表格中，写完一周再继续写，

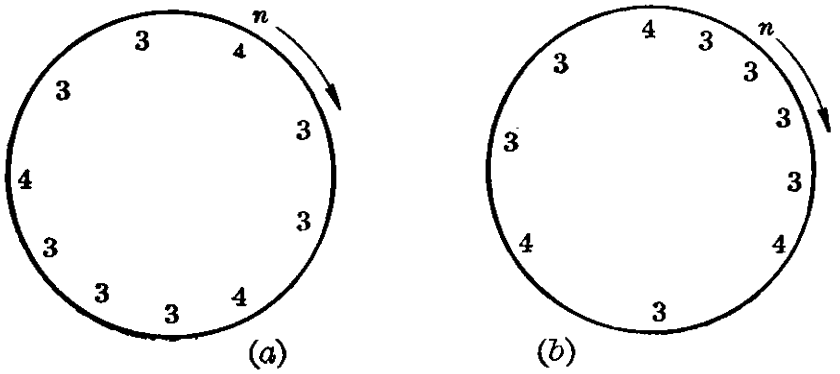


图 2-24

(a) 尽可能均匀；(b) 不均匀

整个绕组共有3个循环，全部写出即得整个绕组的排列：4 3 3 4 3 3 3 4 3 3 3 4 3 3 3 4 3 3 3 4 3 3 3 4 3 3 3 4 3 3 3 4 3 3 3。然后再把相序与槽号标上，于是整个绕组的排列程序便可得出。

2) b 等于3或是3的倍数——按上述方法将大数与小数线圈组尽可能均匀隔开写在一个圆周上，从任何一个数字开始顺时针(或逆时针)转向将圆周上的数字依次写出，写完一周后，应跳过一个数字再开始第二个循环，继续将圆周上的数字写出，写完第二周时仍跳过一个数字继续写，把所有线圈

表 2-1

相	A	B	C
槽号	4 1、2、3、4	3 5、6、7	3 8、9、10
	4 11、12、13、14	3 15、16、17	3 18、19、20
	3 21、22、23	4 24、25、26、27	3 28、29、30
	3 31、32、33	4 34、35、36、37	3 38、39、40
	3 41、42、43	4 44、45、46、47	3 48、49、50
	3 51、52、53	3 54、55、56	4 57、58、59、60
	3 61、62、63	3 64、65、66	4 67、68、69、70
	3 71、72、73	3 74、75、76	4 77、78、79、80
	3 81、82、83	3 84、85、86	3 87、88、89
	4 90、91、92、93	3 94、95、96	3 97、98、99

组都写上，每写完一周，跳过一个数字。整个绕组共有 $3\times 2p$ 个线圈组，依次标上槽号与相序，整个绕组的排列便可得出。

【例二】 三相六极 60 槽电机，要构成分数槽绕组，试写出绕组排列的程序。

解：$q=\dfrac{60}{18}=3\dfrac{1}{3}$，$a=3$，$b=3$，$c=1$，应该用 $ab+c=10$ 只相邻的线圈，组成 3 个线圈组。3 个线圈组由 1 个大数线圈组(4 只线圈串联)和 2 个小数线圈组(3 只线圈串联)组成。把 1 个大数及 2 个小数均匀地写在一个圆周上，如图 2-25，然后从 n 点开始，顺时针转向将圆周上的数字写出。因为 $b=3$，所以在写完一个圆周后跳过一个数字再写，依次将所有绕组写出，绕组共需 18 个线圈组为：4 3 3 3 3 4 3 4 3 4 3 3 3 3 4 3 4 3；标上槽号与相序，便得出表 2-2 的绕组排列序列。

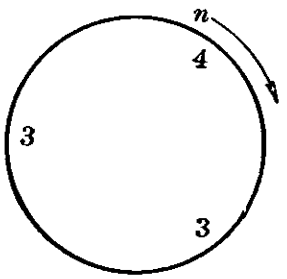


图 2-25

表 2-2

相	A	B	C
槽号	4 1、2、3、4	3 5、6、7	3 8、9、10
	3 11、12、13	3 14、15、16	4 17、18、19、20
	3 21、22、23	4 24、25、26、27	3 28、29、30
	4 31、32、33、34	3 35、36、37	3 38、39、40
	3 41、42、43	3 44、45、46	4 47、48、49、50
	3 51、52、58	4 54、55、56、57	3 58、59、60

【例三】 三相六极 48 槽电机，要构成分数槽绕组，试列出绕组排列程序。

解：$q=\frac{48}{18}=2\frac{2}{3}$，$a=2$，$b=3$，$c=2$，绕组应该由 2 个大数线圈组（3 只线圈串联）和 1 个小数线圈组（2 只线圈串联）组成，整个绕组共有 18 个线圈组。先作图如图 2-26，按上述方法把线圈组顺序写出，即得整个绕组的线圈组排列如下：3 2 3 2 3 3 3 3 2 3 2 3 2 3 3 3 3 2（因 $b=3$，所以每写完一周的数字应跳过一个数再写下一周数字），标上槽号与相序，得出表 2-3 的绕组排列序列。

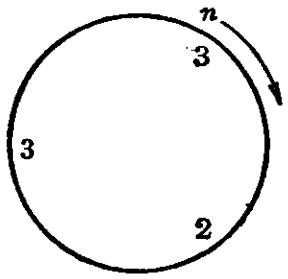


图 2-26

表 2-3

相	A	B	C
槽号	3 1、2、3	2 4、5	3 6、7、8
	2 9、10	3 11、12、13	3 14、15、16
	3 17、18、19	3 20、21、22	2 23、24
	3 25、26、27	2 28、29	3 30、31、32
	2 33、34	3 35、36、37	3 38、39、40
	3 41、42、43	3 44、45、46	2 47、48

第四节 转子绕组

鼠笼式异步电动机的转子绕组为一短路的鼠笼，不再多

说。

绕线转子式异步电动机的转子绕组和定子绕组相似，在转子铁心的线槽中嵌有三相绕组，转子绕组的结构形式一般常用的有两种：

1. 同心式绕组

同心式转子绕组的结构与同心式定子绕组的结构相似，小容量绕线转子式电动机(主要是过去进口的老式电动机)的转子绕组有时采用同心绕组。转子为闭口槽的同心绕组，须用穿线法；对于半闭口槽的转子，可如定子绕组用模型绕制成线圈后嵌入槽内。转子是电动机的转动部分，所以转子绕组在几何上必须是对称的，否则在转动时，由于转子不平衡而产生离心力，使电动机剧烈震动。极对数为偶数时，构成同心绕组较为方便。

2. 波绕组

绕线转子式异步电动机的转子绕组，应用得最广泛的是一个槽里有两个导体的双层波绕组。双层波绕组的基本元件是半线圈(参阅图 2-17(b))，用铜杆 (矩形电磁线) 制作。绕组的环行形状好象波浪形，因此而得名。下面举一个例子来说明波绕组的结构。

图 2-27 示三相四极 24 槽绕线转子绕组的展开图，绕组安排的基本原则和定子绕组相仿。在本例中，每极每相槽数 $q=\frac{Q_2}{2pm}=\frac{24}{12}=2$，节距 $y=6$。图中实线表示上层导体，虚线表示下层导体；为清楚起见，图中只画出一相绕组，其他两相只画出绕组起端。以 A 相为例，以第 2 槽上层导体的首端(以图下端作为导体的首端，图上端作为导体的末端)作为 A 相的起始端，因节距为 6，故第 7 槽上层导体的末端应该与第

8槽下层导体的末端相联接；第8槽下层导体的首端与第14槽上层导体的首端相联接；第14槽上层导体的末端与第20槽下层导体的末端相联接。第20槽下层导体的首端，按节距原应该与第2槽上层导体的首端相联接，但第2槽上层导体的首端是A相的起始端，这样绕组将成为闭合的了，因此在这里就要采用缩短1槽或者增加一槽的节距，前者称为短距越过绕组，后者称为长距越过绕组。这里采用短距越过绕组即节距为$6-1=5$，则第20槽下层导体的首端应该与第1槽上层导体的首端相联接；第1槽上层导体的末端仍按原节距($y=6$)与第7槽下层导体的末端相联接；第7槽下层导体的首端与第13槽上层导体的首端相联接；第13槽上层导体的末端与第19槽下层导体的末端相联接。此时一相绕组已经过二次环行，一相的一半铜杆(半线圈)已经联接好了。第19槽下层导体的首端为第一支路的末端A'。第二支路的起始端X从相距第一支路的起始端(第2槽)为一个极距($\tau=6$，以槽数表示)的第8槽上层导体的首端开始环行，方法与第一支路相同，经过二次环行，到第1槽下层导体的首端为第二支路的

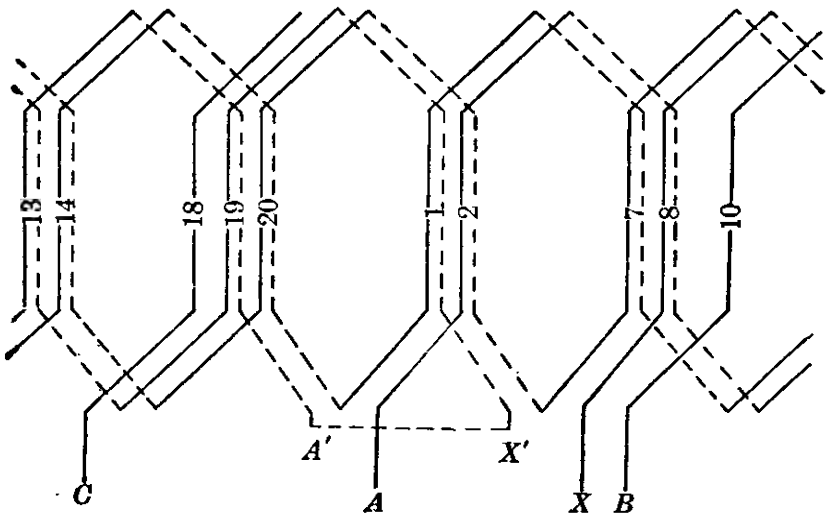


图2-27　三相四极24槽绕线转子(一相)绕组展开图

末端 X'。这样一相绕组将有两个支路。如果绕组为一路的，将第一支路的末端 A' 与第二支路的末端 X' 联接起来（串联），一相绕组就有一个起始端和一个末端，A 与 X，见图 2-27。

因为转子绕组是跟着转子旋转的，所以每相绕组的始末端应做得平衡。为此，第二相（B 相）的起始端应该是相距第一相（A 相）的起始端 $\frac{Q_2}{3}=8$ 槽的第10槽上层导体的首端（环行方法同 A 相）；第三相（C 相）的起始端应该是相距第一相的起始端 $\frac{2Q_2}{3}=16$ 槽的第 18 槽的上层导体的首端（环行方法同 A 相）。三相绕组的首端（或末端）联接在一起（Y形接），三个末端（或首端）接到滑环上。绕组的端接部分用钢丝帮扎固定。转子绕组在浸渍绝缘漆以前必须做静平衡和动平衡试验。

第五节　槽矢量星形图的应用和绕组的联接

前几节已经介绍了各种绕组的结构。怎样把整个绕组的所有线圈安排在定子槽中，可以利用槽矢量星形图。

三相电动机的定子槽分布在定子内圆周上，各槽的位置不同，各槽的感应电动势之间就有一个相位差，所以可以用矢量来表示各槽的电动势。用这种方法来表示每槽电动势的图形就叫槽矢量星形图。

槽矢量星形图的画法如下：先计算出相邻槽的电角度，例如四极 24 槽电机，相邻槽间的电角 $=\frac{360p}{Q_1}=\frac{720}{24}=30°$，在纸上每隔 30 度（几何角）作一矢量，并把槽号标上；在一个圆周角内可作十二条矢量，四极电动机的电角度正好是圆周角

的二倍，所以四极的矢量图要转两周，13 槽至 24 槽的矢量与第 1 槽至 12 槽的矢量重合，如图 2-28。六极电动机的电角度正好是圆周角的三倍，所以矢量就要转三周。

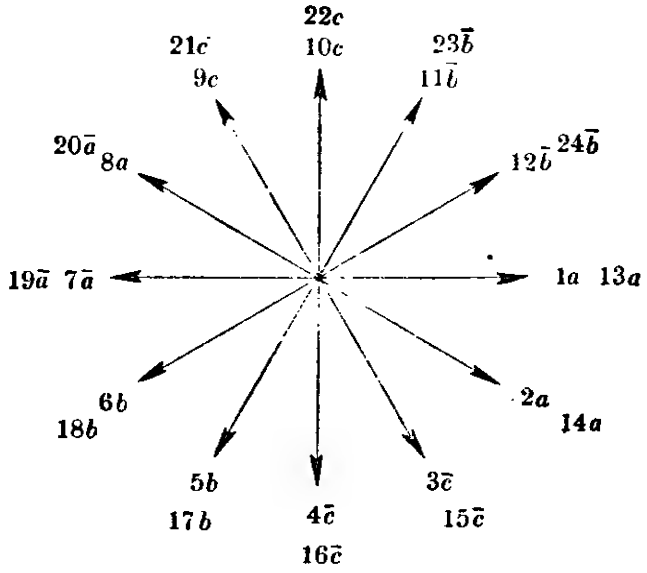


图 2-28　三相四极 24 槽电机槽矢量星形图

作好槽矢量星形图后就可安排绕组。对于三相四极 24 槽电动机，每极每相应该分配到 2 槽，选择最接近的 2 条矢量作为一个极相组，这样的矢量分布就最集中，如选择第 1，2 槽作为 A 相的一个极，它的相邻极应该在与第 1、2 槽相隔 180 度电角的第 7、8 槽；其余两个极应该在 19、20 槽和 13、14 槽，A 相共分配到八个槽，各标上相号。因为处于相邻极下槽内线圈边的电流方向应该相反，所以第 1、2、13、14 槽的电流应该同向，第 7、8、19、20 槽的电流应该同向且与 1、2、13、14 槽反向，在电流反向的相号上面加注负号“$-$”。三相绕组的平衡条件是在位置上彼此间隔 120 度电角，即应相隔 4 槽，所以 B 相应在与第 1、2 槽相隔 4 槽的第 5、6 槽，C 相应在第 9、10 槽；其他各槽的安排都和 A 相一样。矢量图上标好全部相号后，就可根据它来安排绕组。因为一只线圈两条边的电流方

向总是相反的，所以线圈的两条边必须安排在矢量方向相反的槽内。按线圈端接部分形状和节距的不同，可以安排各种不同的绕组形式，如同心式绕组、链形绕组、交叉式绕组等，如图 2-29（图中小圆中的“×”号表电流方向为流进纸面，“·”号表流出纸面）。

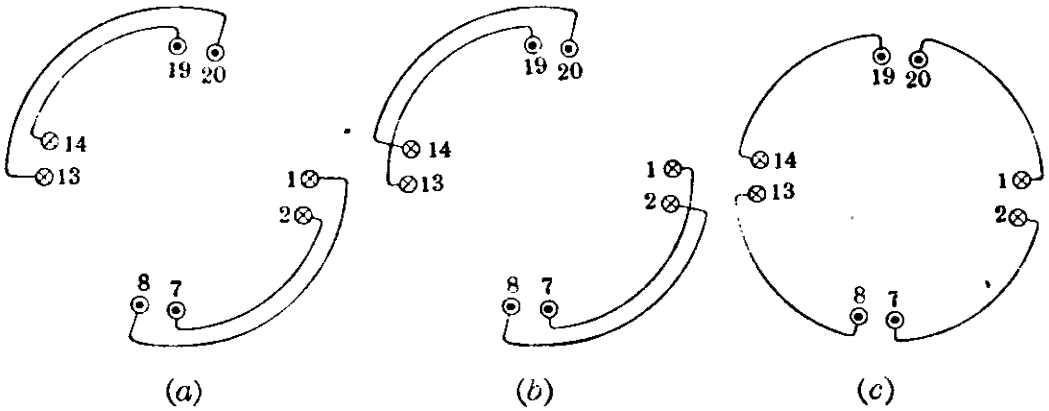


图 2-29　绕组的安排示意

(a) 同心绕组；　(b) 链形绕组；　(c) 交叉式绕组

再举三相四极 36 槽电机为例，用槽矢量星形图来安排绕组。先按上述方法作出槽矢量图如图 2-30，每极每相应该分配到 3 槽：$q=3$。在矢量图上取 1、2、3 槽为 a 相的一个极相

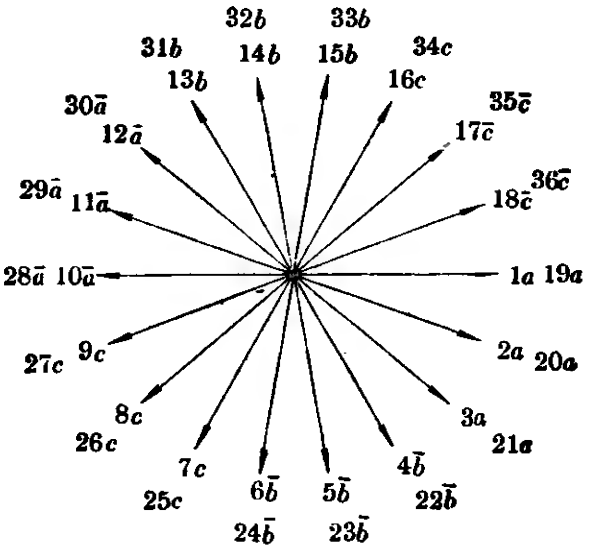


图 2-30　三相四极 36 槽电机槽矢量星形图

组，a 相的另外三个极应该分配在第10、11、12槽，19、20、21槽，28、29、30槽。这样 a 相共分配到12个槽。如假定1、2、3槽的电流方向为正，则19、20、21槽的电流方向也应该为正，第10、11、12槽及28、29、30槽的电流方向则应该为负，这样才能形成四个磁极。B、C 相的矢量与 A 相彼此间应各相隔120度电角，即相隔6槽；依次把相号标上，便可得出整个绕组的排列程序，列表如下：

槽　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
相　号	a	a	a	$-b$	$-b$	$-b$	c	c	c	$-a$	$-a$	$-a$	b	b	b	$-c$	$-c$	$-c$
槽　号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
相　号	a	a	a	$-b$	$-b$	$-b$	c	c	c	$-a$	$-a$	$-a$	b	b	b	$-c$	$-c$	$-c$

从矢量图上可以安排出几种不同的绕组形式：

1）安排 a 相绕组，取第1槽与第10槽，第2槽与第11槽，第3槽与第12槽各放置一只线圈，三只线圈串联成线圈组(线圈的节距等于9)。同理，另一个线圈组应放置在第19、20、21槽及28、29、30槽。一相绕组由两个线圈组构成，用正串接法联成相绕组。B 相及 C 相绕组。亦按上述方法安排。这就是单层迭绕组。图2-31表示一相绕组的展开图。

2）仍按上表的排列程序只改变绕组的结构。取第2槽与10槽，第3槽与11槽各放置一只线圈，两只线圈串联成线圈组(节距等于8)，与另一单只线圈(放置在第12槽与19槽，线圈的节距等于7)构成极相组。这样每相分配到的12个槽子，安排四个线圈组(两个由两只串联线圈构成的线圈组和两个单只线圈)，用反串接法联接成相绕组。这种形式就叫做交叉式绕组。图2-32表示一相绕组的展开图。

3) 取第 3 槽与第 10 槽，第 2 槽与 11 槽，第 1 槽与 12 槽各放置一只线圈，把三只线圈串联成同心线圈组(三只线圈的节距不同)。同理，第 19、20、21 槽与第 28、29、30 槽放置一个同心线圈组。这样每相绕组就有两个同心线圈组，三相绕组共有六个同心线圈组，用正串接法联接成相绕组。展开图如图 2-33 所示。

从以上各例中可以看出，用槽矢量星形图安排三相绕组是很方便的。各种绕组的形式只是端接部分形状和结构不同，

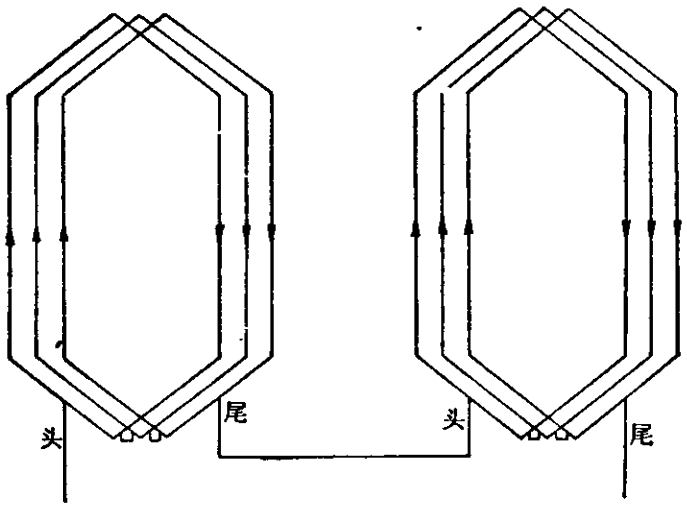


图 2-31　按图 2-30 槽矢量图安排的链形绕组

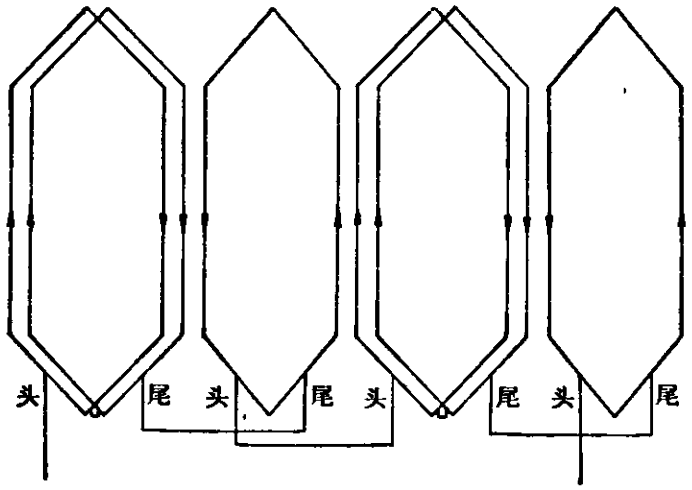


图 2-32　按图 2-30 槽矢量图安排的交叉式绕组

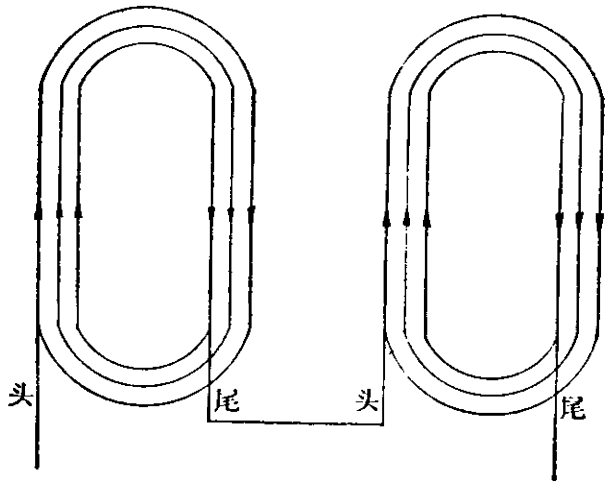


图 2-33　按图 2-30 槽矢量图安排的同心式绕组

只要矢量图不变，各种绕组的电性能是基本相同的。

线圈全部嵌入定子槽以后，就要把所有线圈联接成三相绕组。线圈的联接必须保证各槽内的电流方向与槽矢量图符合，所以必须按照一定的规则联接。首先把各个线圈联接成极相组，再把各极相组联接成相绕组，最后接引出线。联接方法有正串接法和反串接法。

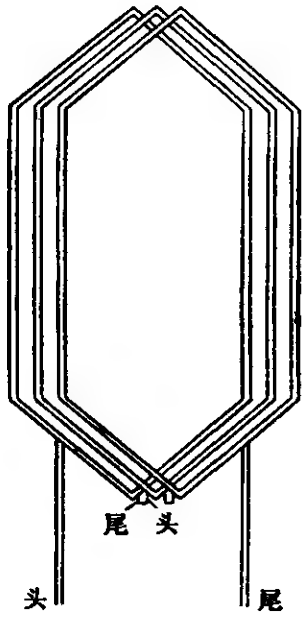


图 2-34　极相组内的联接

1）极相组的联接——每极每相所分配到的槽数，就是一个极相组所占的槽数。在这些槽内的线圈中的电流方向必须相同，所以这些线圈须用正串接法，即头尾联接，如图 2-34 所示。在中小型电机中，一个极相组内的线圈一般是连续绕制的，不用接头。

2）相绕组的联接——只有属于同一相的极相组才能彼此联接。三相绕组在定子槽内是均匀分布的，所以每隔两个极相组的组，即第一、第四、第七……组是属于同相的，应联接起来。在一相绕组中，处于相邻极下槽内

线圈边的电流方向必须相反，极相组与极相组应按照极性来联接：同极性正串联接(头尾联接，或称底面线联接)；异极性反串联接(头-头或尾-尾联接，或称底-底或面-面联接)，例如图 2-31～图 2-33 所示。

3) 并联支路的联接——各支路内串联的线圈数必须均衡；每一支路内的联接亦按上述原则。图 2-35 示并联支路联接的例子。

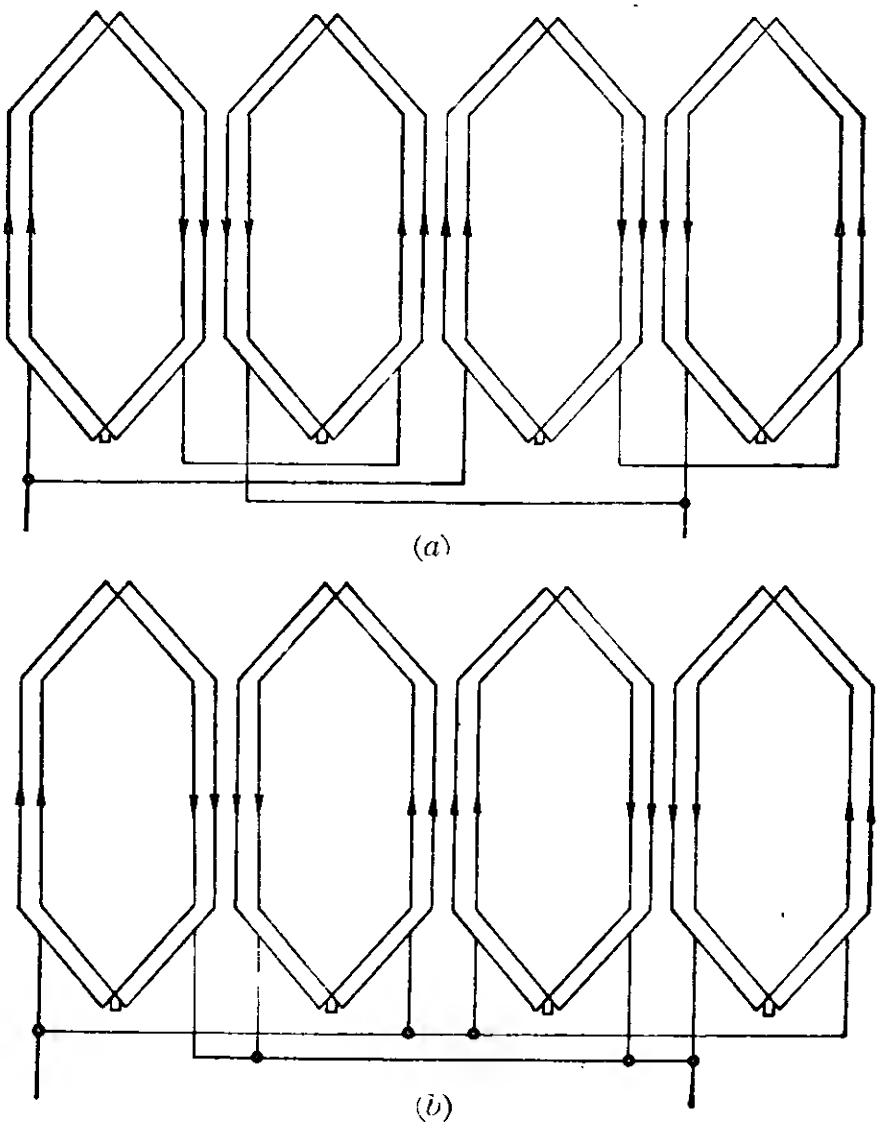


图 2-35　并联的一相绕组接法

(a) 两路并联；　(b) 四路并联

图 2-36～图 2-49 示几种常见的接线图，以供参考。

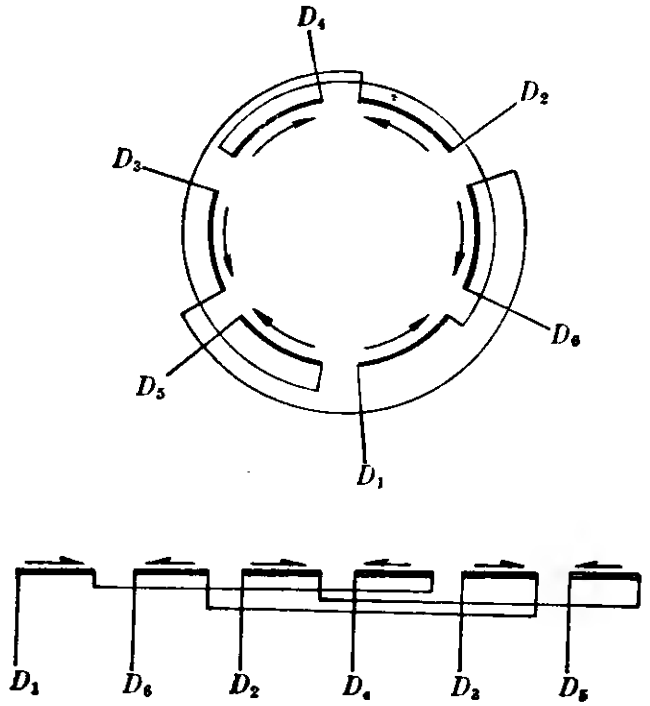


图 2-36　三相两极一路接线图

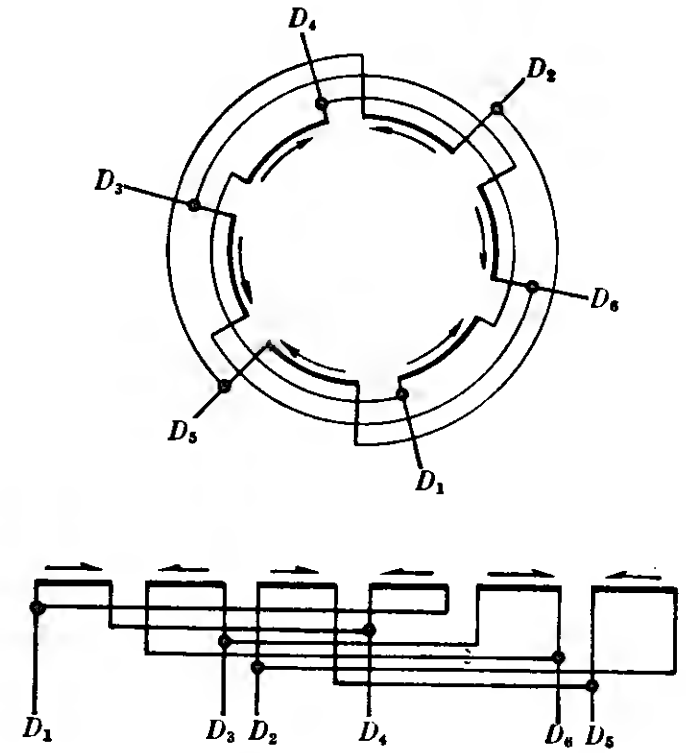


图 2-37　三相两极两路接线图

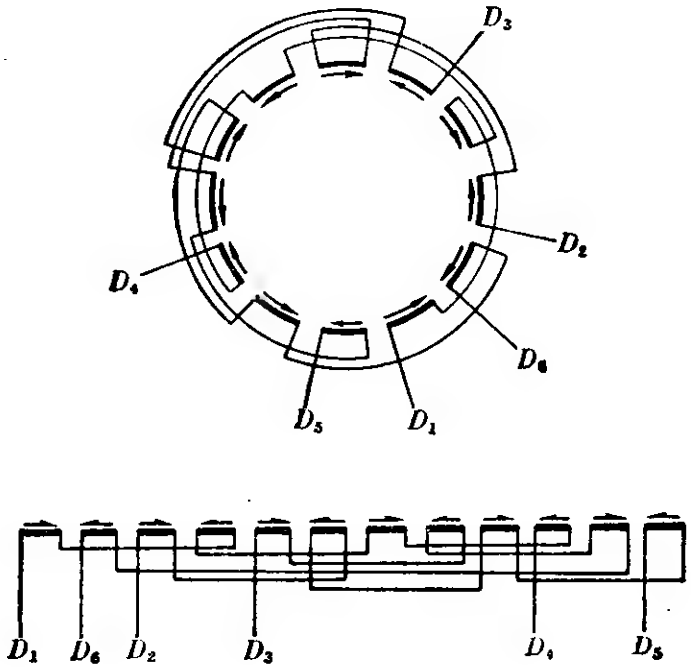


图 2–38　三相四极一路接线图

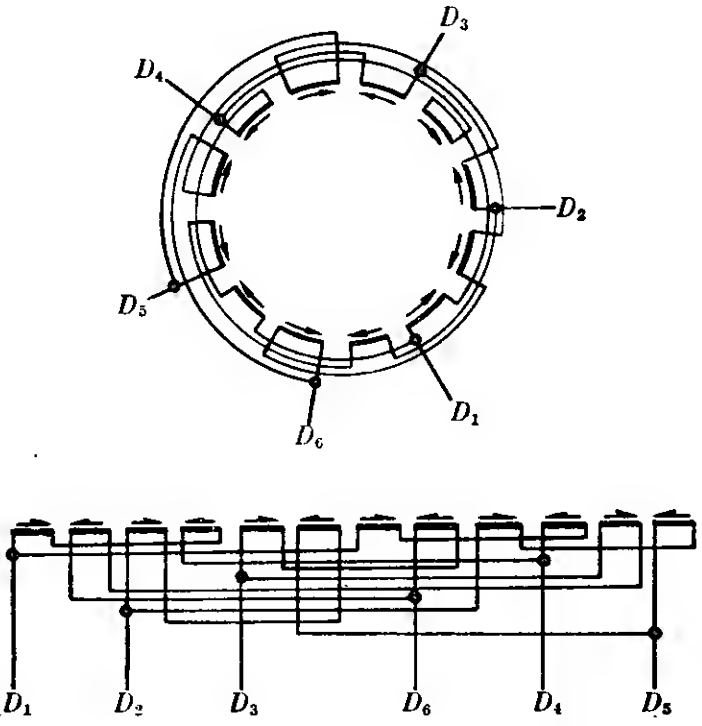


图 2–39　三相四极两路接线图

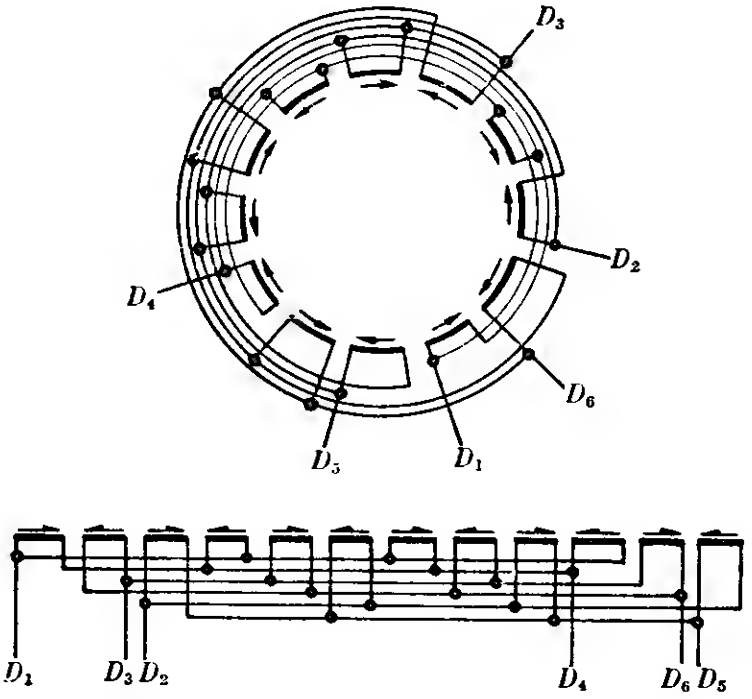


图 2-40　三相四极四路接线图

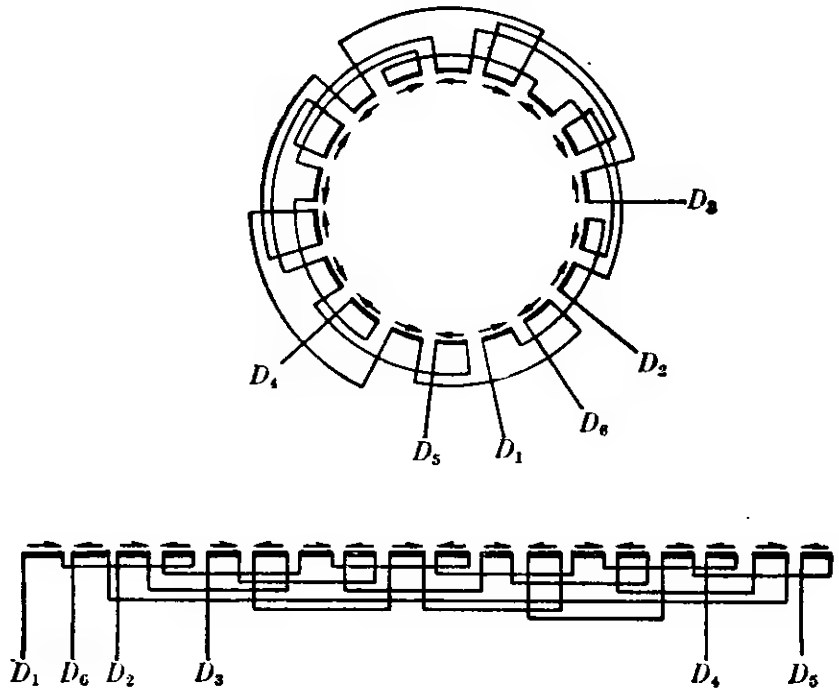


图 2-41　三相六极一路接线图

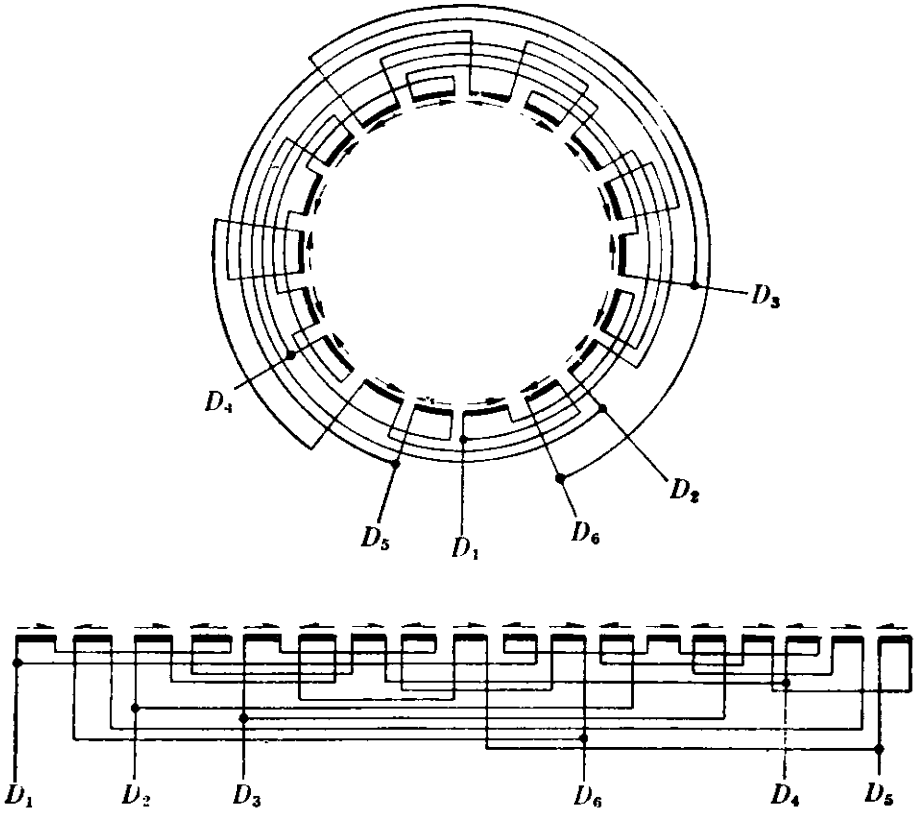


图 2-42　三相六极两路接线图

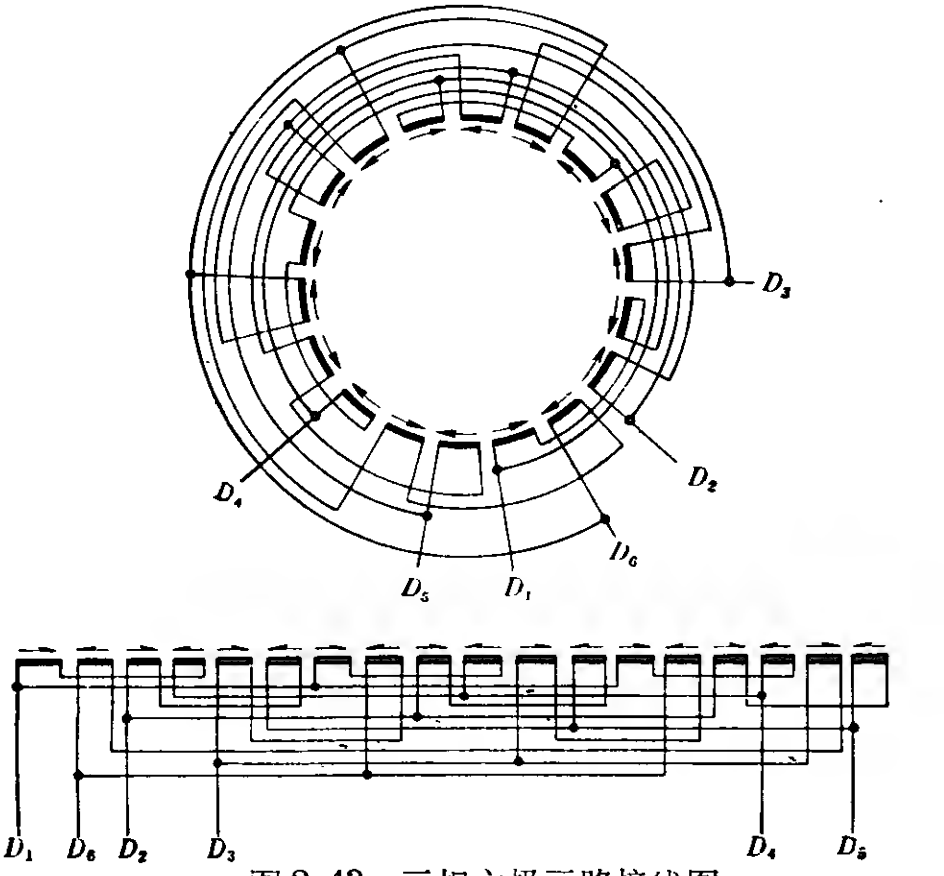


图 2-43　三相六极三路接线图

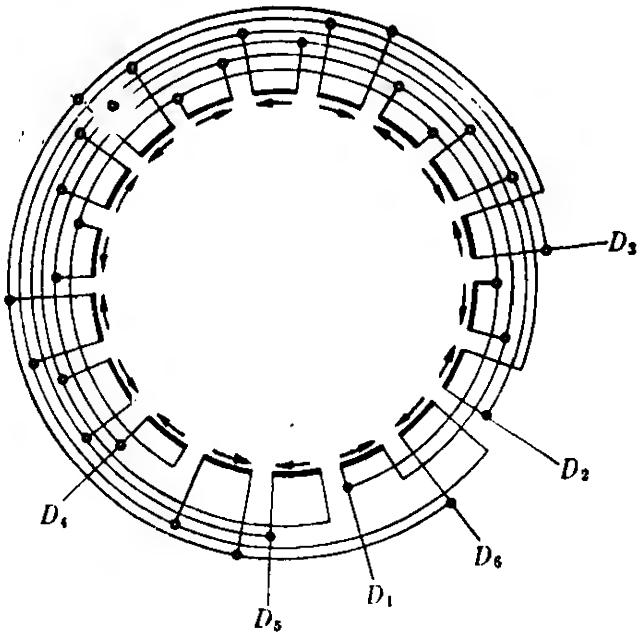
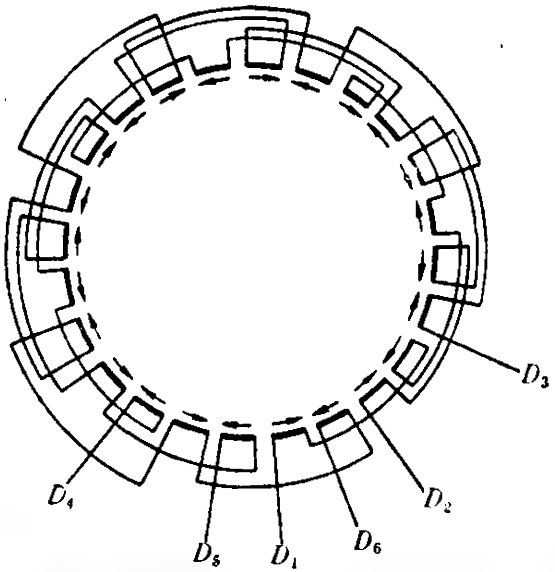


图 2-44　三相六极六路接线图



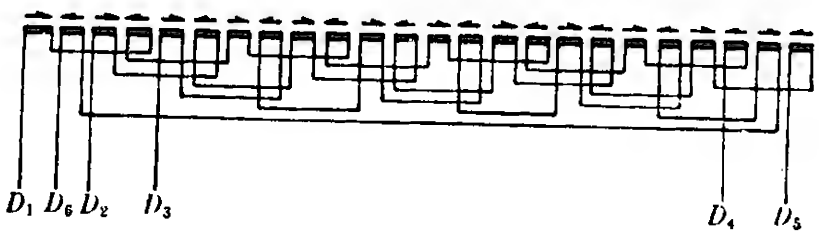


图 2-45　三相八极一路接线图

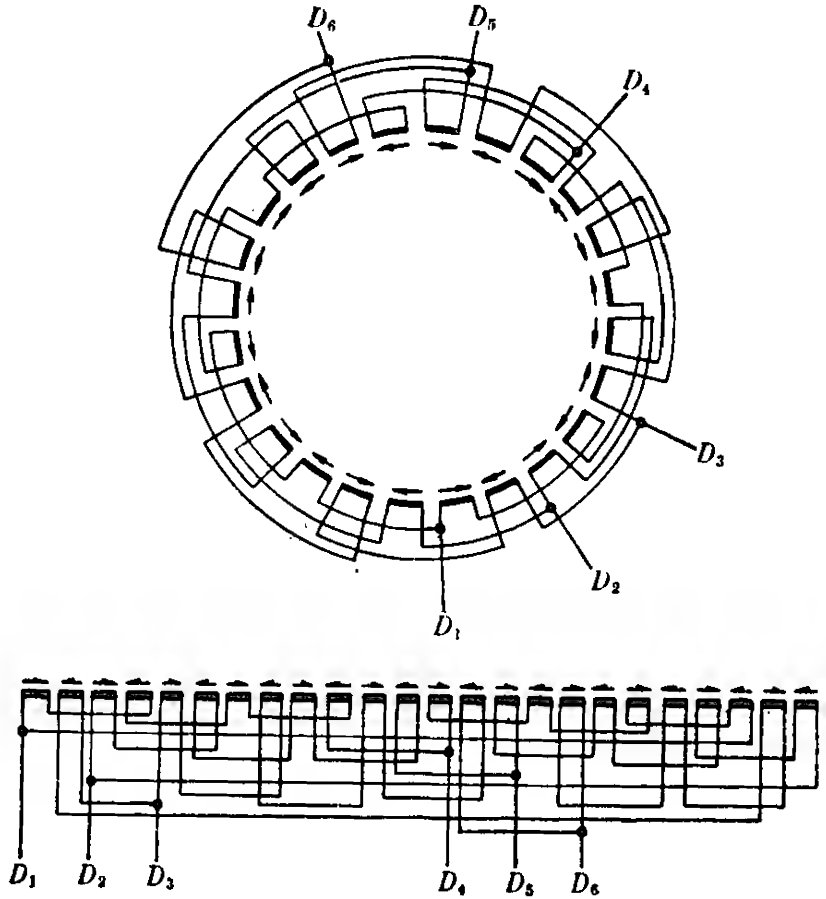


图 2-46　三相八极两路接线图

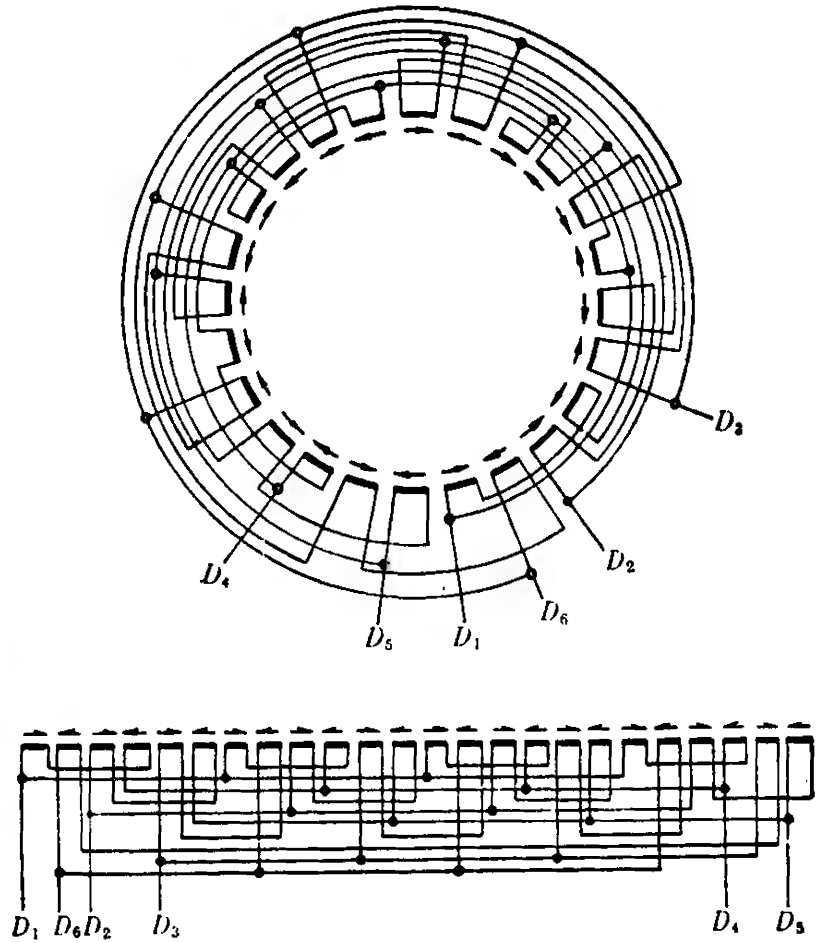


图 2-47　三相八极四路接线图

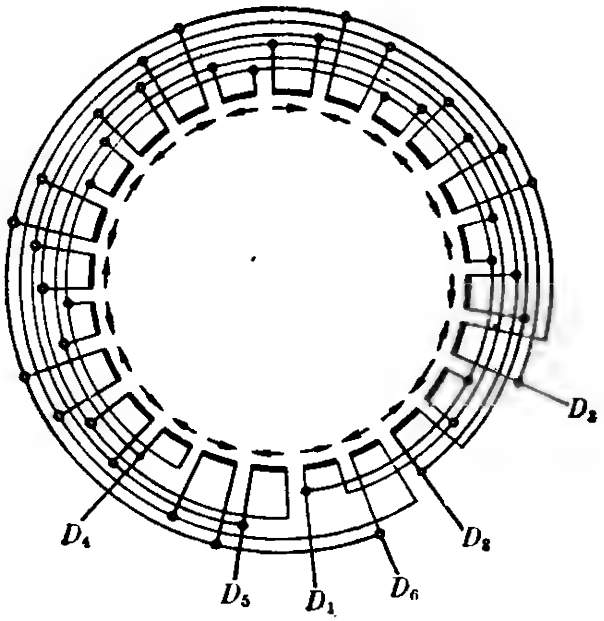


图 2-48　三相八极八路接线图

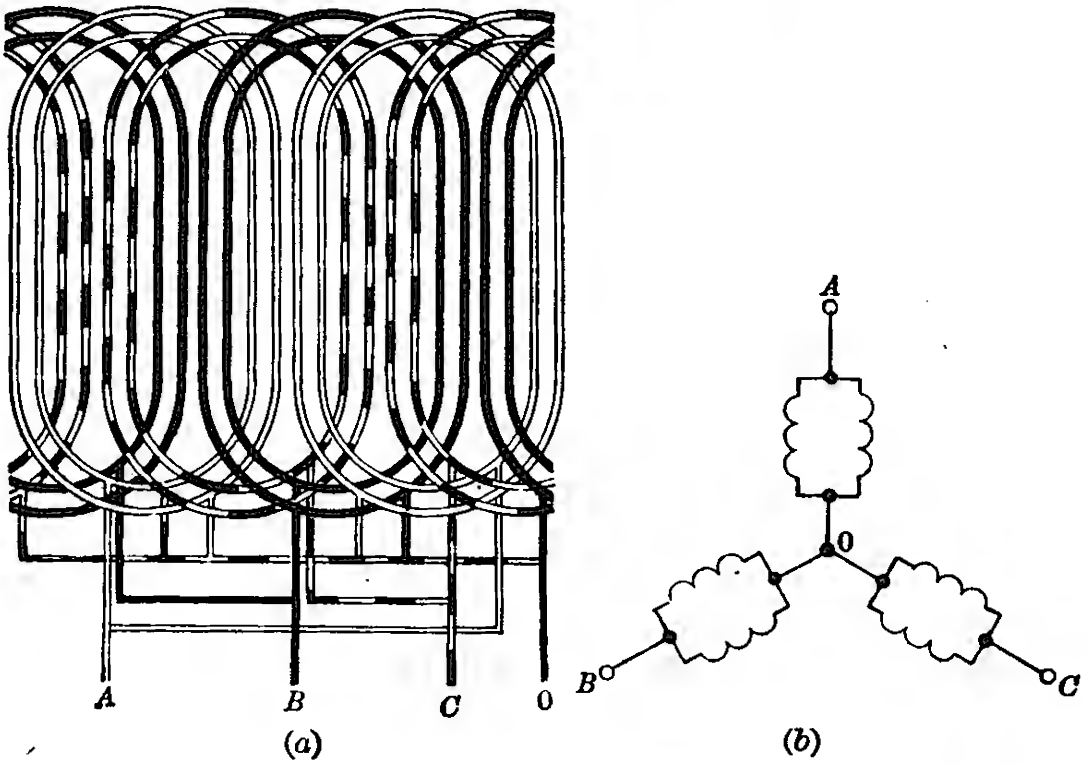


图 2-49　三相两极两路接线图(QY 型潜水电泵)

第三章　三相异步电动机的故障及其预防

异步电动机在使用过程中，其运动部件(例如轴承)将逐渐磨损，构成电机的材料会逐渐老化而失效(例如绝缘)，这是电机本身内部矛盾发展的必然结果，是不可避免的现象。一般说来，三相异步电动机的结构是相当牢固可靠的，构成电机的材料也有足够的稳定性，在正常使用的情况下，电机是有相当长的使用寿命的。但是，如果电动机使用不当，例如，转轴受到不应有的扭力，就会使轴承由于额外的摩擦而加速磨损，甚至将轴扭断；再如由于过载等原因而电机过度发热，就会加速绝缘老化而很快失效，以致烧坏绕组。这就是外因通过电机本身的内因而起作用，加速了电机的老化损坏过程，促短了电机的寿命。我们要弄清电动机的故障，一方面是为了修理的需要，另一方面弄清了故障的原因，就能正确使用电动机，排除一切不利于电机的外因，最大限度地延长电动机的使用寿命。

再则，电动机经过长期使用之后而损坏，损坏的一般也只是其中较易老化失效的材料如绝缘、经受摩擦的部分如轴承等，至于定子铁心、转子铁心、机座等，在正常情况之下使用寿命是很长的，因此电机仍可经修理后继续使用。充分利用废旧物资，对于为国家节约资金是有重大意义的。

第一节　三相异步电动机的常见故障现象

人们认识事物，总是先从认识现象开始。我们认识异步

电动机的故障，也是从接触故障的现象开始。现象是本质的显现。但是，某几种故障往往有同样的表现，而一种故障也往往在几个方面表现出来。此外，从电动机上表现出来的故障现象，有时故障却并不在电动机本身，而是在电源、起动设备等方面。因此，根据电动机的故障现象来分析判断电动机故障，就不是一件很简单的事，一定要从多方面去分析。

三相异步电动机的故障现象，较常见的大致有如下几种：

1．合上闸刀电动机接通电源后不能起动，且有响声

这种现象的故障有电动机本身的，也有电动机外部的。属于电动机外部的因素有 ①单相运行（电源一相或两相断路）；②起动设备发生故障；③电动机过载等。存在于电动机本身的故障有①轴承损坏，以致转子与定子相擦；②轴承内有异物；③定子绕组断路或短路；④转子与定子的槽配合不对；⑤绕组联接错误。最后两项只发生在经过改绕和重绕的电动机中。

2．电动机起动后无力，转速较低，电流表摆动不停

出现这种现象的故障一般都在电动机本身，大致有 ①△接法误接为Y接法；②鼠笼转子的端环、笼条断裂或脱焊；③定子绕组短路；④绕线转子的绕组断路，电刷磨损或规格不对，滑环表面有油垢或粗糙不平。

3．电动机起动后声音不正常

这种现象的故障有属于绕组方面的，如 ①定子绕组局部短路或通地；②绕组联结错误；有机械结构方面的，如 ①机壳破裂；②轴与轴承之间松动；③轴承故障（滚珠磨损，轴套间隙过大，严重缺油等）；④转子与定子相擦；⑤定子铁心在机座内松动；⑥铁心损坏；⑦其他结构零件松动。

4．电动机起动后过热、冒烟

这种情形说明由于电动机本身的故障或外部原因以致绕

组温升过高，如①电源电压过低或三相电压相差过大，以致电流增大；②电动机过载；③电源一相断路或定子绕组一相断路，造成电动机单相运行；④定子绕组局部短路，相间短路，绕组通地；⑤转子与定子相擦；⑥绕线转子式电动机的电刷压力太大或电刷与滑环不配合；⑦绕线转子的绕组断路；⑧周围温度过高。

5．轴承发热

轴承发热说明轴承内部有了额外的严重摩擦，其原因有①电动机与传动机构联接偏心；②传动皮带过紧；③轴承外环对轴承板压得过紧；④转轴弯曲；⑤轴承磨损，轴承内有异物；⑥轴承缺油；⑦轴承规格不合(例如低速用在高速上)。

第二节　怎样分析判断故障

从上节可以看到，三相异步电动机中故障繁多，一种故障现象有多种故障可能性，有时故障比较隐蔽，还难推测故障可能性。初看似乎头绪纷繁，分析很难着手。实际上，电动机中某种故障的产生总是和一定的因素相联系，例如，绕组绝缘的烧坏总是和绕组的过热相联系着，绕组的过热总是和绕组中电流的过大相联系着，等等。“**外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。**”异步电动机中的故障虽然多种多样，但它们都是由一定的外因通过电动机的内因而造成。我们只要掌握了电动机本身的规律和有关电动机的情况，就不难通过分析找出故障及其原因。

因此，在动手修理之前，必须充分掌握电动机的情况，逐步分析研究。一般可按如下步骤进行：①仔细检查电动机的电器设备、外电路情况，以确定故障是否在外电路，或外电路

故障引起电动机故障；②详细了解电动机的规格和使用情况，除自己观察外，并向电动机管理人员了解，并听取电动机管理人员对故障可能性的推测；③仔细观察电动机的一切现象，如声响、振动、气味、温升、电压、电流、转速等，并接通电源直接观察（通电前必须用兆欧表测试，并排除机械故障）；④先根据故障现象假定几种故障可能性，再综合各种情况进行分析，“**去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里**”，把根据不足的可能性逐一排除，最后减少到一、二种可能性，然后拆开电机测试，以证实故障所在。下面举几个例子来说明分析的方法。

【例一】 有一台鼠笼式三相异步电动机，已使用过数年。现在发现（从电流表上）三相中有一相电流明显增大，运行时有振动现象。其他情况基本正常，无杂噪声，也无过热现象。

根据上述情形推测有这样几种故障可能性：①电源电压不平衡；②绕组内部接错；③绕组短路；④绕组并联支路断路。三相电压不平衡虽会造成三相电流不平衡，但相差不会很大，现在一相明显增大，所以不可能是这种故障；这台电动机是一向在使用的，并不是刚绕成的，所以第二种故障也不可能；如果是绕组短路，那么电动机将产生杂噪声，电机将过热甚至出烟，现在电机没有这些现象，所以第三种可能性也不存在。剩下来就是第四种可能性了。绕组并联支路断路会造成电流增大，电机振动，但在短时间内电机还不致过热和发出显著的杂噪声。所以可认为故障是绕组并联支路断路。最后证实还须经过实测。

【例二】 有一台旧的鼠笼式三相异步电动机，经修复后试运行时，空载电流正常，无杂噪声，亦无振动、过热等现象，但满载时电动机就过热。

根据故障现象推测有如下几种可能性：①满载时一相或两相电源突然断路(例如由于熔丝过细等原因)；②鼠笼转子断条；③电动机出力不足。如果电源突然断路，电动机会突然发热，但同时将发出“嗡嗡”叫声，现在电动机没有这种现象，所以没有这种可能性。第二种可能性较大。转子绕组短路或断路，会使电动机不能起动或负载时不能起动。如果鼠笼导条少数断路，可能不影响空载运转，但这时电流表指针会摆动不定。现在空载时电流正常，所以这一可能性也可排除。由此可以推断电动机出力不足的可能性最大。出力不足的原因可能是这台电动机长期使用后定子与转子相擦，过去修理时就按一般习惯车削转子外圆，以致气隙增大，为了限制空载电流而取较低的磁密，增加绕组匝数并相应减小导线截面，这样虽然空载时三相电流平衡并达到标准，而实际出力却不足了。

【例三】 有一台旧的绕线转子式异步电动机，转子上的滑环和刷握已拆除，转子绕组的三根出线端并在一起当作鼠笼转子。起动和负载运转时一切都正常，但起动时转子有方向性(有“死点”)，即转子处于某一位置时电动机不能起动，须将转轴稍许转动一下才能起动；起动后负载工作仍很好。

根据现象有这样几种可能性：①定子绕组或转子绕组有故障；②功率不足；③转子与定子间的槽配合不当。如果是定子或转子的绕组有故障，往往就不能起动，或起动后有其他不正常现象。现在没有这些现象，看来这一可能性很小。功率不足而不能起动一般不会有“死点”现象。由此推断，这一现象的故障是定子与转子间槽配合不当。这台电动机不能采用这种改制方法。

从以上几个例子中可知，只要能掌握异步电动机的基本原理和具体电动机的结构、性能等特点，以及掌握有关电动机

的各方面情况，就不难作出比较正确的判断。

第三节　怎样正确使用电动机

从三相异步电动机的故障和故障原因的分析中可以看出，电动机使用不当，就会造成种种故障。下面讲一些使用电动机时必须注意的主要事项。

1. 电动机的选用和起动时的注意事项

电动机必须按名牌规定的数据使用，如电源的电压和频率，必须与名牌规定的相符；功率必须适合所要拖动的机械，小马拉大车将使电动机过载甚至烧毁，而大马拉小车则不仅浪费资金，而且将使电动机的功率因数和效率降低；电动机的定额必须适合所拖动的机械的工作条件，等等。

三相异步电动机的起动方法有全压起动和减压起动两种。一般 10 千瓦以下的电动机，在电源容量（变压器容量）允许的条件下，都采用全压起动。功率较大的（10 千瓦以上）电动机，以及在电源容量不允许时，应采用减压起动，否则可能由于起动电流太大而使绕组绝缘过热损坏，或造成电网电压下降。绕线转子式异步电动机的起动是在转子电路中接入变阻器（起动变阻器、频敏变阻器等），起动后电阻逐渐减小，直至完全短接进入正常运行。

电动机在开始使用前，应详细查对名牌，检查电路、起动设备和其他有关装置的情况，各部分电路是否接妥，接地是否可靠，熔丝是否完好并符合规格，开关、接触器等是否良好。电路接错、断路、短路等，都会对电机造成损害。

在电动机接上电源前，应检查绝缘状况，用 500 伏兆欧表测量，定子绕组的绝缘电阻应不低于 0.5 兆欧。若绝缘电阻不足，应进行干燥处理。对于绕线转子式异步电动机，还应检

查转子绕组的绝缘，校准碳刷弹簧压力，清除滑环和碳刷表面的污垢。

电动机使用前，应先作空载运行试验，在运行中仔细观察电机运转是否正常，有无异常声响或振动等；检查电机旋转方向是否正确，若要改变转向，只须将电机的任意两相接线对调即可。空载运行一段时间后证明电动机正常，方可带负载起动。

在电动机起动前，必须注意起动控制器的手柄是否放置在起动位置。在起动完毕转入正常运行时手柄必须拨到“运转”位置，若在起动状态下继续运行，则电机在欠压情况下运转，将过热而烧坏。

对于潜水电泵，选用时应注意其规格，应根据所需要的扬程和流量选用；配用的出水管内径应符合规定；接线电缆的规格应根据电缆长度选择，以能维持电压在342～418伏之间为准，一般采用单芯编织涂蜡橡胶绝缘软线，可按下列规格选用：

200米以下	$7\times\phi0.52$
200～500米	$19\times\phi0.52$
500～800米	$19\times\phi0.64$
800～1000米	$19\times\phi0.82$

潜水电泵必须有可靠的接地，以保证安全。电泵不得离开水运转，如需在陆地上试车，运转时间不得超过5分钟。电泵的潜水深度范围是0.5～3米，最深不宜超过10米，太深容易漏水；潜入水下时应垂直吊起，不应卧倒，更不得陷入泥中，以防电机因散热不良而烧坏。潜水电泵只可用于清水中，如河水、井水等，水温不超过40℃，水中含砂量不得超过0.6%，不得用于泥浆水中。

JQB 型潜水电泵配用 DZ4-25/330 自动空气断路器作为控制开关和保护设备，QY 型亦可用上述开关，但因额定电流稍大(QY 型为 6.5 安，JQB 型为 5.7 安)，故应将红指针拨高约 2 毫米，以免经常跳闸。若无保护开关，允许用三相闸刀开关，但须用 18 号熔丝作为保护。

2. 对运行中电动机的监视

对运行中的电动机要加强监视，注意运行中发生的一切现象，随时掌握情况，发现问题及时处理解决，以免故障扩大。监视主要有以下几个方面。

(1) *监视电动机的负载电流* 电动机负载电流增大时绕组线圈的铜损将增大，因而定子绕组线圈和定子铁心的温度都将上升。电动机在正常运行时，当环境温度为 35℃ 时电动机的负载电流不应超过名牌上的额定值。当环境温度高于或低于 35℃ 时，负载电流容许增减，如表 3-1 所示。

表 3-1 环境温度升降时负载电流容许增减量

环境温度 (℃)	电流降低 (%)	环境温度 (℃)	电流增加 (%)
35	0	30	5
40	5	30 以下	8

在监视负载电流的同时，应监视三相电流的平衡情况。一般在三相电流的最大值没有超过额定电流值时，各相电流的不平衡不应超过 10%，若相差悬殊，那么定子绕组可能有短路、断路、接反等故障或电动机单相运行，应立即停机检查。

(2) *监视电动机的温升* 在第一章中已讲过，电动机的绝缘材料有一定的耐热性能，因此电动机都有规定的温升限度，超过这个限度绝缘就将加速老化失效直至击穿，造成绕组

短路等故障。因此监视电动机的温度是很重要的。

电动机的温升是指绕组的温升，监视电动机的温升不能以电动机的外壳表面温度为准，而应测量内部温度。测量温度可如图 3-1 所示，将电动机的吊环拧下，用酒精温度计(不宜用水银温度计) 以锡箔包裹酒精端放到吊环的螺孔中去测量。一般如电动机的外壳发烫得手摸不住 (须先用验电笔测试电动机没有通地故障)，则这台电动机已过热了。

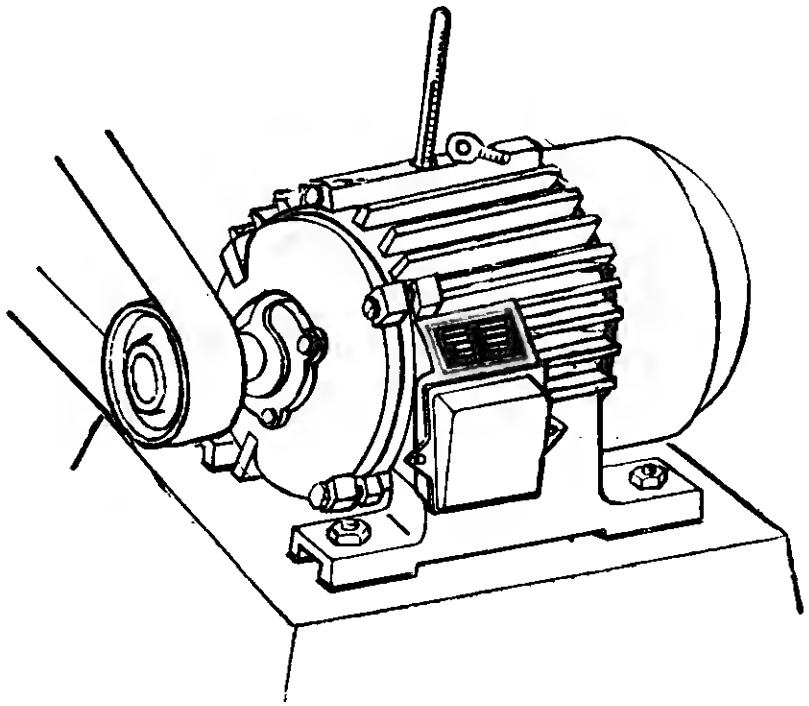


图 3-1　测量电动机的温度

(3) 监视电源电压的变化　电源电压过高和过低，都会造成绕组过热。一般电动机可以在电压额定值 ±10% 范围内正常运行，超过 10% 时电动机将不能正常负载运行或电机将过热。同时还应监视三相电压的平衡。三相电压的不平衡将造成三相电流的不平衡。一般三相电压之间的差值不得超过 5%。

(4) 注意电动机的振动和轴向位移　电动机中机械和电

气上的故障会使电动机在运行中发生振动，所以一旦振动加剧，电动机必有故障（属于安装上的问题如底脚罗栓松动等不在此列）。如用手触摸电动机外壳有麻感，就说明电动机发生振动。振动情况可用图 3-2 的布置来测定。对于不同转速的电动机，振动幅度一般不应超过如下的容许值：3000 转/分，≤0.06 毫米；1500 转/分，≤0.10 毫米；1000 转/分，≤0.13 毫米；750 转/分，≤0.16 毫米。

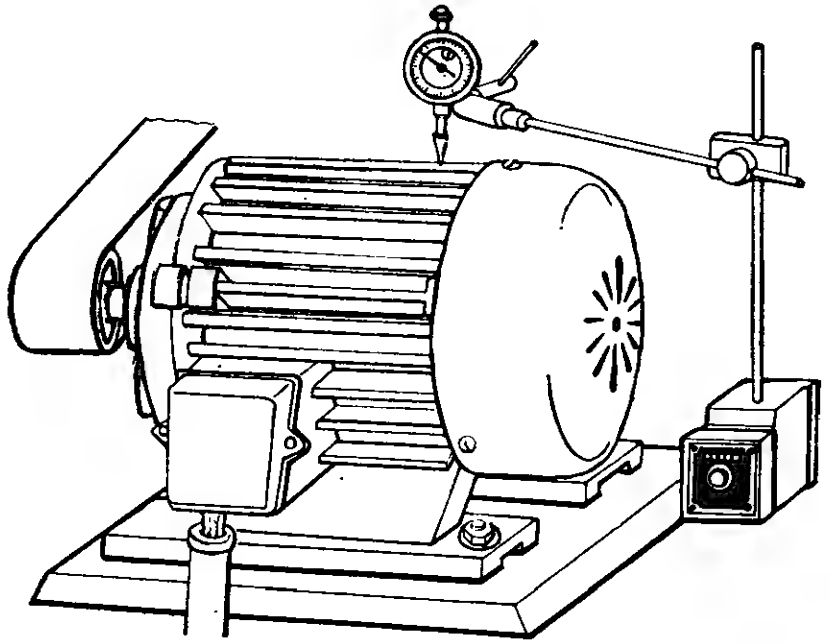


图 3-2　测定电动机振动的布置

对于采用滑动轴承的电动机，应注意轴向位移不能超过 4 毫米。

(5) 注意轴承情况和电动机发出的气味、声响等的变化　电动机运行中轴承的温度不得超过容许值（一般在 80℃ 左右），轴承外盖边缘处不能有漏油，否则就说明轴承过热。

在运行中应随时注意有无特殊异味和焦臭气味，这些现象说明电动机已过热，应立即检查故障，查明原因。

一般电动机在正常运行中，差不多没有什么杂声，较大的

电动机也只有均匀的哼声和风扇的呼啸声。若在运行中听到不正常的杂噪声、低沉的吼声等，说明电动机有故障。机械故障和绕组故障表现出来的异常声响有较明显的区别，应仔细听察辨别，作出较正确的初步故障判断。

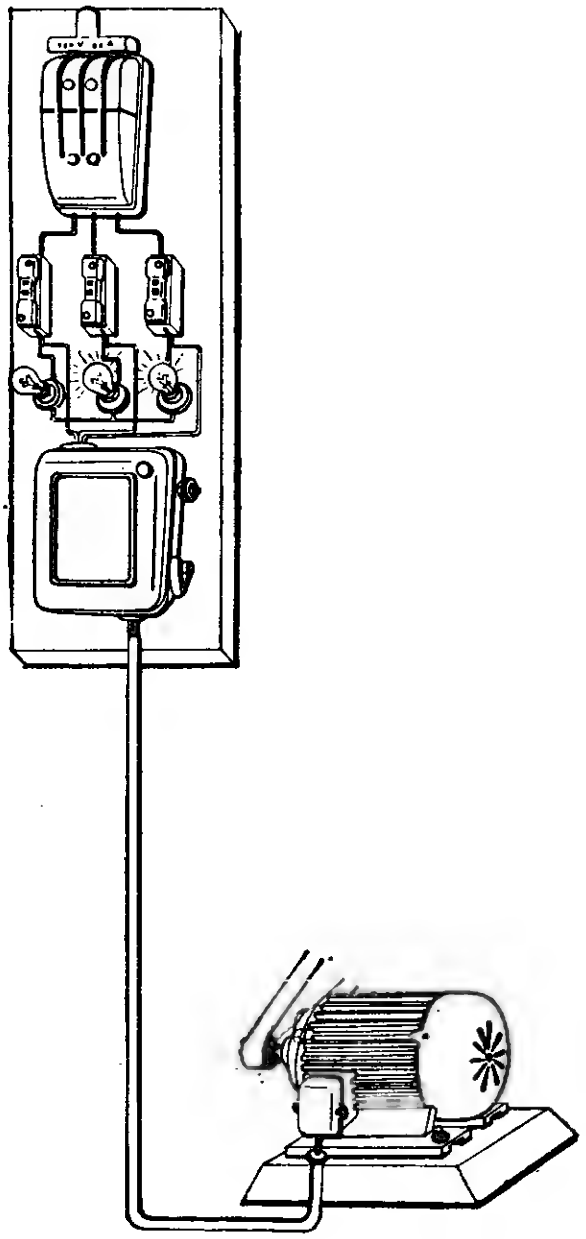


图 3-3　电源断相监视灯线路

(6) 其他注意事项

在电动机运行中如发现故障可疑情况，应当机立断，不可迟疑不决，以免故障进一步扩大。如发现以下情况，应立即切除电源，停机检查：①发生人身事故；②开关线路起火或冒烟；③电动机突然发生较大的异常声响或剧烈震动；④电源断相监视灯发光指示断相（断相监视可采用如图 3-3 所示的线路）；⑤被拖动的机械失灵、轧住或损坏；⑥绕组、轴承等过热；⑦电动机转速急剧下降等。

3. 电动机的维护保养

对于延长电动机的使用寿命，良好的维护保养，是和正确使用同样重要的。缺乏妥善的维护保养，将使电动机受到损害，降低性能，缩短寿命。因此要求对电动机经常进

行检查，精心管理。

(1) 维护要点　维护保养就在于保证电动机的正常状况和工作性能，要点如下：

1) 电动机必须按名牌规定的输出功率使用，不允许长时间过载；

2) 定期技术检查每月至少一次，发现故障、缺陷及时排除；

3) 电动机投入使用前应用500伏兆欧表测试绕组的绝缘电阻，不得低于0.5兆欧，绝缘电阻低的电动机应进行干燥处理后方可使用；

4) 每年至少进行一次定期维修，这时要拆开电动机，清理内部及更换轴承润滑脂；

5) 运行中的电动机，每工作4000小时须用汽油清洗滚珠轴承并更换润滑脂，所用润滑脂可参阅第六章表6-8和表6-9，用量以填满轴承室的三分之二为度，不可过多或过少。

对于套筒轴承，应随时注意轴承油箱内是否有足够的润滑油；应观察轴承的温升和油环摆动的情况；注意润滑油是否清洁。

(2) 电动机的保养　电动机经过长期使用后，按维护要点应定期进行检查和维修。拆开电动机，仔细检查定子绕组内有无油垢、杂物等；铁心的通风槽内有无尘垢积聚，若通风不畅，将影响电动机的散热，以致温度增高。绕组表面绝缘材料若有较小的损伤，可用绝缘漆重新涂上一层。如绕组绝缘电阻低于规定要求，应将电动机进行干燥处理。电动机的转子应检查有无短路、铁片松弛以及其他缺陷；绕线式转子应检查绕组焊接点和绑线有无脱焊或松脱；滑环表面是否光滑清洁，有无烧灼痕迹；炭刷表面是否整洁，是否与滑环表面良好

吻合；刷握内壁是否清洁，有无烧灼痕迹，弹簧压力是否正常，握柄是否灵活。电动机绕组与电源引入线的可见部分是否松散、碰伤或灼伤，绕组的引出线往往会断裂或绝缘破损，以致绕组断路、碰壳等。还应检查定子铁心有无松动或其他缺陷；电动机外壳、风扇、风罩等有无损伤；接线盒内螺栓是否松动，有无灼伤现象。检查后发现的种种故障和缺陷应一一修复，发现问题及时解决。

潜水电泵在不用时不可长期泡浸在水中，应起出放置在干燥通风的室内，使定子绕组不易受潮。应经常打开电泵上盖的加油螺孔加满润滑油（5号或10号机械油或缝纫机油等）。整体式密封盒是潜水电泵的主要动密封部件，它的好坏直接影响电机的安全运行，因此必须经常检查：①分别打开上盖和下盖的油孔，放出少量的油分析检查，如果上盖内的油中含有水份，说明第一道密封（第一对磨块）已经漏水；如果下盖内放出的油中有水份，则说明第二道密封（第二对磨块）已经漏水；②用500伏或1000伏兆欧表（摇表）测量定子绕组的对地绝缘电阻，若低于0.5兆欧，则说明密封盒中的磨块已严重磨损而电机内部已漏进水了。这就必须更换密封件，将定子绕组进行干燥处理，并更换新的冷却油。密封盒的修理见第六章第四节。

做好经常的维护保养工作，是预防发生故障，保证安全运行，延长电机寿命的重要措施，因此决不可忽视。

第四章　绕组故障的检查和修理

定子绕组是电动机的主要组成部分，也是电动机发生故障的主要所在。一般电动机在正常运行中，仅听到低而均匀的机械哼声；如果电动机在运行中发出低沉的吼声，或电动机发热、剧烈振动、冒烟等现象(排除机械故障可能性)，这必定是绕组发生了故障。造成定子绕组故障的原因，不外是电动机经过长期运行后，绕组绝缘老化；外界的影响，如受潮、暴晒、金属异物的损伤、有害气体的腐蚀等等；不正常的运行，如过载、单相运行；选择使用方法不对等。

第一节　定子绕组故障的检查和处理

定子绕组的常见故障有①绕组通地(碰壳或漏电)；②绕组短路；③绕组断路；④绕组联接错误等。

1. 绕组通地故障的检查和处理

引起绕组通地故障的原因主要是：电动机长期不使用，周围环境潮湿或电动机受雨淋日晒，或长期过载运行，有害气体的腐蚀等，使绕组迅速老化，绝缘性能减弱，绝缘电阻下降；金属异物掉进绕组，内部，损坏绝缘；有时电动机在重绕定子绕组时损伤了绝缘物，使导线与铁心相碰等等。

绕组通地后，会造成绕组发热，进而造成绕组的短路，严重时造成电动机无法运行，特别是绕组通地后电动机外壳带电，将造成人身触电事故。所以电动机绕组的绝缘状况须常加检查，一发现有绕组通地的故障就必须及时检查修理。

检查的方法很多，下面介绍几种检查方法。

(1) 用兆欧表测量　所用兆欧表须根据要测量的电动机的电压大小来选用，对于500伏以上的高压电机，用1000～2500伏级的兆欧表；500伏以下的低压电机，则用500伏级的兆欧表。

测量电动机绕组对机座的绝缘（对地绝缘）的方法见图4-1，把兆欧表的“火线”一端接在电动机的绕组的引出线端上（可以分相或三相并在一起测量），“地线”一端接在电动机的机座上（测量前须清除机座上的油腻和油漆），以120转/分的速度摇动兆欧表手柄，表针就指出绝缘电阻值。如果测量出的绝缘电阻在0.5兆欧以上，则说明该电动机绝缘尚好，可继续使用。如果绝缘电阻在0.5兆欧以下，甚至已接近“0”，则说明该电动机绕组已受潮，或绕组绝缘很差。如果测量得出的绝缘电阻为“0”，而且在手摇兆欧表时，感觉比上两种情况用力要重，这很可能是绕组通地了。

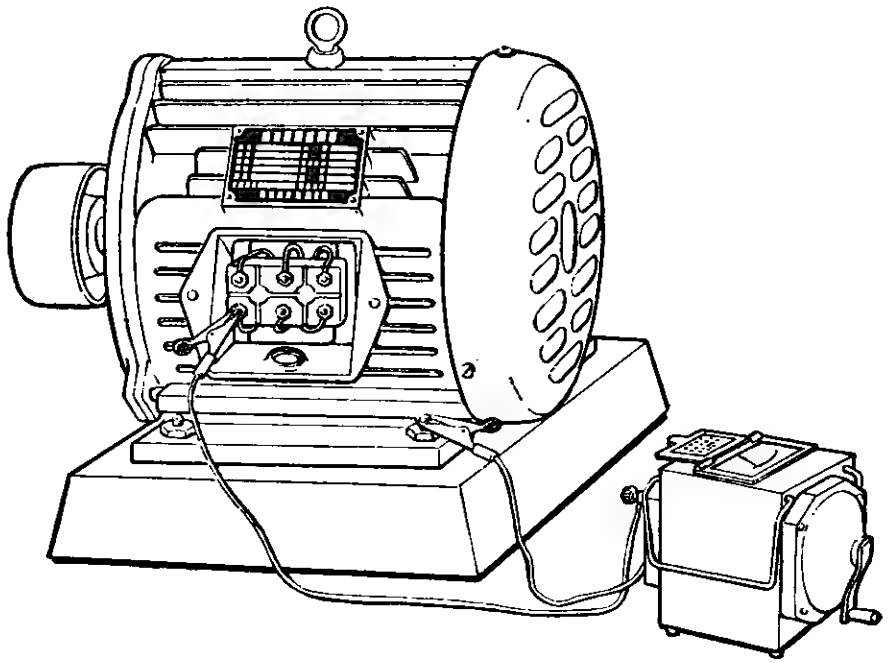


图4-1　用兆欧表测量绕组通地（或对地绝缘）的方法

绕组的相与相间的绝缘亦必须加以检查，方法与上述相仿，把兆欧表的“火线”一端接在三相绕组引出线的任何一根，“地线”一端接在另一相绕组引出线端上，另三根引出线端必须拆开，这样轮换地测量三相之间绝缘电阻。如果电动机只有三根引出线，那在电动机外部就无法测量相间绝缘，必须拆开电动机，把联结并头拆开，再分相测量。对相间绝缘电阻的要求，也和绕组与机座间的绝缘相同。

(2) 用校验灯（挑担灯）检查　先把绕组各相的接头拆开，然后用灯泡与电源（为安全起见，须用低压电源）串联起来，如图 4-2，这样逐相地测量相与机座、相与相间的绝缘状况。如果灯泡发亮，这说明电动机的绕组已通地或碰相了（相间击穿）；如果校验灯泡微微发光，可能是绕组内潮气重、绝缘差或通地。

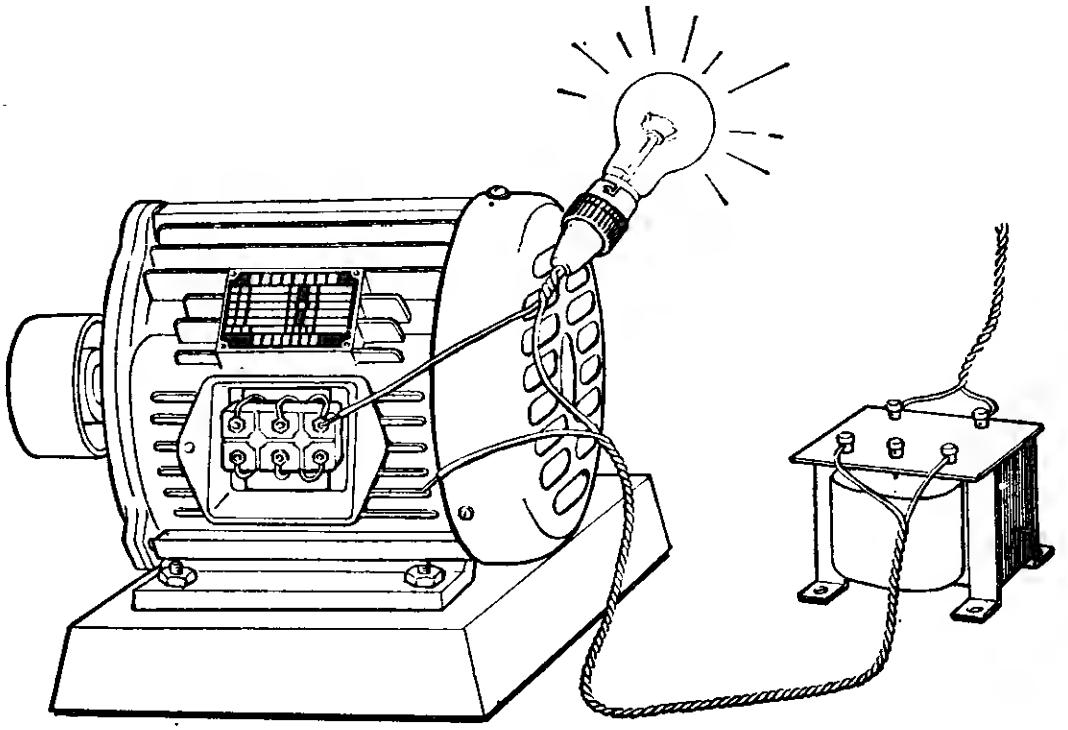


图 4-2　用校验灯（挑担灯）检查绕组通地

(3) 用变压器试验（高压试验）　有的旧电动机，在低压

情况下用兆欧表或校验灯测量的结果，不一定说明该电动机在额定电压下可以连续使用的绝缘质量；对于刚嵌好的绕组，也不易检查绝缘质量。在这种情况下可用高压来检验绝缘状况。将变压器次级（高压侧）的一端接机壳，次级另一端接绕组的三相引出线（把三相引出线并接起来）。试验电压一般要求为电动机额定电压的二倍再加1000伏；对于旧电动机应减低电压，一般可取电动机额定电压的三倍。在试验中，可以看到，如果绕组通地，在变压器初级电路里的熔断器或小断路器将立即跳开，切断电源；还可以看到绕组与铁心间有闪络或小电弧发生。用变压器也可测试相与相间耐压情况，先把三相引出线的联结处松开，变压器次级的一端接一相引出线，另一端接另一相的引出线，这样逐相试验耐压情况。

在上述各种测量或试验方法中，仅仅能测量出某一相通地；要测量某一相究竟哪一只线圈通地，就必须把电动机拆开，把各相各绕组的联结线拆开，然后逐一测定。（先找出某相通地，就把这相内的联结线拆开，其他各相不必拆开。）

(4) *修理方法*　如果测出是绕组受潮（绝缘电阻在0.5兆欧以下），可将电动机两边端盖拆除，放在烘箱内烘焙（方法见电动机的烘焙一节），烘到要求的电阻时，再加浇一层绝缘漆，防止回潮。

如果测量或试验得出是绕组通地或碰相，那就必须找出是哪一相哪一个线圈的故障，然后将这个线圈从槽内取出；如发现槽内绝缘损坏，可重新换上；如果是线圈绝缘损坏，可更换损坏的线圈；如果仅仅是相邻的导线间绝缘损坏，可填入小片黄蜡布把这两根导线隔开，再涂上绝缘漆。

新嵌线的电动机往往在线圈伸出铁心末端处的绝缘损坏，这是因为在嵌线时用力将线圈拗曲而不慎破坏槽口处的

线圈的绝缘。发现这种情况，可用绝缘纸填入线圈与槽口间，把线圈与铁心槽口隔开。

2. 绕组短路的检查与处理

绕组短路故障的原因，主要是电动机电流过大；电源电压过高；机械损伤；重新嵌绕时碰伤绝缘，绝缘老化脆裂等。发生短路故障后，各相串联匝数就不等（有一部分短路绕组不参加运行），这样，四周的磁场分布就不均匀，造成电动机振动、杂声、发热甚至烧毁。短路一般可分：①匝间短路（同一只线圈里导线匝间短路）；②极相组短接（一个极相组的两个引出线短接；③相间短路（异相绕组之间短路）。

(1) *外部检查绕组的短路*　所谓短路就是导线外绝缘损坏，造成相邻的两根导线直接相通，短接线圈中的电流就迅速增加，这只线圈温度迅速升高，使该线圈的绝缘焦脆。我们可以利用这个原理来检查：把电动机空载运行 20 分钟（如发现电机发出焦味或冒烟应立即停车），然后拆卸两边端盖，用手摸线圈的末端，如果摸到某一部分线圈比邻近的线圈温度要高，则这部分线圈很可能短路了。另外我们也可以仔细地观察线圈的末端处有无焦脆等现象，如果某一只线圈外绝缘焦脆，就说明这只线圈很可能有短路存在。

(2) *短路侦察器检查绕组短路*　检查绕组是否短路比较有效的方法是用短路侦察器检查。短路侦察器是一个按照变压器原理制成的铁心线圈，其铁心用 日 形硅钢片迭成，凹槽中绕有线圈。用短路侦察器检查定子绕组的方法如下（定子绕组不接电源）：把侦察器的开口部分放在被检查的定子铁心槽口上，如图 4-3，侦察器线圈的两端接上单相交流电源（最好用低压电源），这样，侦察器与定子的一部分就组成一个变压器，侦察器的铁心和定子铁心组成变压器的磁路，侦察器的线

圈相当于变压器的原绕组，而被检查的定子铁心槽内的线圈就相当于变压器的副绕组，如果定子绕组内有短路处存在，则短路线圈中就会有电流通过，并在它的周围产生交变磁场，此

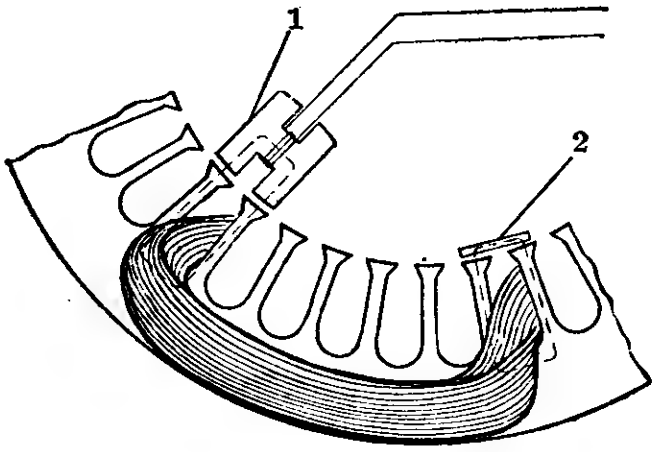


图 4-3　用短路侦察器检查定子绕组的短路

1—短路侦察器；　*2*—铁片

时，拿一块薄铁片(例如废手锯条)放在被测绕组的另一边的槽子上面（参阅图 4-3)，短路线圈所产生的磁通就会经过铁片而成回路，把铁片吸附在定子铁心上，并发出"吱吱"的响声。如果绕组没有短路故障存在，这个绕组中就没有电流，因而薄铁片也就不会有响声。另一种方法是在短路侦察器的电路中串联一只电流表，把短路侦察器贴在铁心内圆周表面慢慢移动，如线圈有短路处存在，电流表的读数就会增大。

(3) *直流电阻法检查绕组短路*　利用绕组的直流电阻值可以判断线圈是否匝间短路。当线圈有了匝间短路时，电阻值就将减小。如果把测得的三相电阻值加以比较，就能判断绕组是否短路，电阻值小的绕组有匝间短路的可能(但应排除由于接头氧化、接触不良等引起的电阻增大)。由于电动机的相电阻值往往很小，所以必须用低值欧姆表或电桥来测量。测

量方法如下：①如三相电机有六个引出线端，应先用万用表判别出各相的始末端，然后用低欧姆表或电桥分别测量各相绕组，将测得的三相电阻值 R_1、R_2、R_3 加以比较；②如果电机只有三个引出线端，内部接成星形（丫接法），可不必拆开并头，分别量出 1-2, 2-3, 3-1 的电阻值，如图 4-4(a) 所示，这样测出的电阻值为每相电阻值的两倍，可据以求出每相的电阻值，计算方法如下：

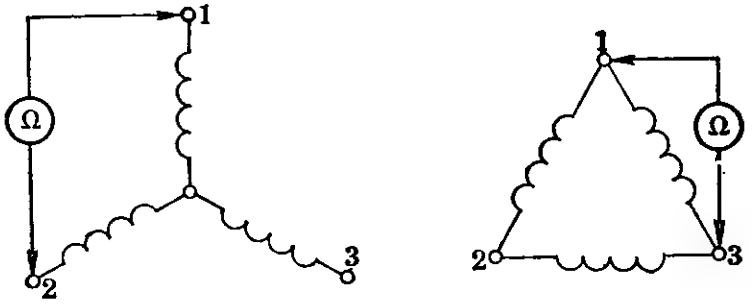


图 4-4　测量各相绕组的直流电阻示意

(a) 测量丫形联接的绕组；　(b) 测量△形联接的绕组

测出 1—2 的电阻为 R_{1-2}；2—3 的电阻为 R_{2-3}；3—1 的电阻为 R_{1-3}；设 Y_1、Y_2 和 Y_3 分别为三相的直流电阻，则 $Y_1+Y_2=R_{1-2}$；$Y_2+Y_3=R_{2-3}$；$Y_1+Y_3=R_{1-3}$，

$$Y_3=\frac{R_{1-3}+R_{2-3}-R_{1-2}}{2}$$

$$Y_1=R_{1-3}-Y_3$$

$$Y_2=R_{1-2}-Y_1$$

③如果电机只有三个引出线端，内部接成三角形（△），分别量出：1—2, 2—3, 1—3 的电阻值，如图 4-4(b)所示，然后加以比较，如果电阻值平衡，说明匝间短路的可能性不大；

$$\text{每相直流电阻}=\frac{1}{\frac{1}{R}+\frac{1}{2R}}=\frac{1}{\frac{2+1}{2R}}=\frac{2}{3}R$$

表 4-1 列出 J 型电动机每相绕组直流电阻值供参考。

表 4-1　J 系列三相异步电动机每相绕组的直流电阻值 (75°C)

型　号	功 率 (千瓦)	每相直流电 阻 (欧)	型　号	功 率 (千瓦)	每相直流电 阻 (欧)
J 21-2	0.35	27.1	J 82-4	55	0.0548
J 22-2	0.6	13.2	J 91-4	75	0.0384
J 31-2	1	7.62	J 92-4	100	0.0258
J 32-2	1.7	3.6	J 31-6	0.35	21
J 41-2	2.8	2.005	J 32-6	0.6	10.8
J 42-2	4.5	0.965	J 41-6	1	6.44
J 51-2	7	0.75	J 42-6	1.7	3.28
J 52-2	10	0.393	J 51-6	2.8	1.87
J 61-2	14	0.319	J 52-6	4.5	1.12
J 62-2	20	0.192	J 61-6	7	0.863
J 71-2	28	0.125	J 62-6	10	0.543
J 72-2	40	0.0735	J 71-6	14	0.326
J 81-2	55	0.0509	J 72-6	20	0.197
J 82-2	75	0.0312	J 81-6	28	0.138
J 91-2	100	0.0245	J 82-6	40	0.0804
J 92-2	130	0.0162	J 91-6	55	0.052
J 21-4	0.2	45.2	J 92-6	75	0.0364
J 22-4	0.35	22	J 41-8	0.6	11.96
J 31-4	0.6	13.35	J 42-8	1	6.31
J 32-4	1	6.48	J 51-8	1.7	3.8
J 41-4	1.7	3.85	J 52-8	2.8	1.98
J 42-4	2.8	1.93	J 61-8	4.5	1.143
J 51-4	4.5	1.208	J 62-8	7	0.725
J 52-4	7	0.65	J 71-8	10	0.529
J 61-4	10	0.54	J 72-8	14	0.328
J 62-4	14	0.327	J 81-8	20	0.189
J 71-4	20	0.228	J 82-8	28	0.119
J 72-4	28	0.129	J 91-8	40	0.089
J 81-4	40	0.0895	J 92-8	55	0.056

注：(1) 每相直流电阻各生产厂数据各有不同，仅供参考。

(2) 测量时必须减去测量用线的电阻。

(4) *修理方法* 一般最易短路是同极同相、相邻两个线圈和上下两层的线圈间及线圈的槽外部分。如果明显可以看出，可用竹楔插入两线圈间，把这两线圈的槽外部分分开，并垫上绝缘物。如果绝缘脱落，可以重新绝缘。如果短路较严重，就必须拆下重绕；个别线圈短路，可用穿线法拆换线圈。穿线的方法如下：把绕组加热至 80℃ 左右，使线圈绝缘物软化，然后把短路的那只线圈的槽楔取下，并把这只短路线圈两端剪断，用钳子把导线从槽内一根一根地抽出（抽出时注意勿碰伤相邻的线圈），清理槽内绝缘，换上新的绝缘，然后把新的导线一根一根地穿绕到原来的匝数。如果是双层绕组，短路线圈在下层，在修理时，就要先把上层线圈轻轻向上拉出槽外，然后再用上述方法处理。

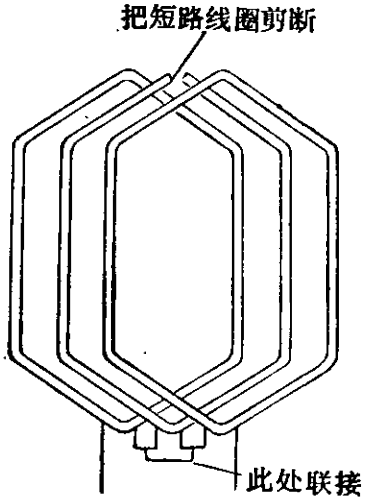


图 4-5 用跳接法处理短路线圈

有时遇到电动机急需使用，一时不及修理，可采用跳接法作应急处理，其原理是把短路的线圈跳过不用，如图 4-5 所示，把短路的线圈的一端割断，用绝缘材料把两个端头包好，再把线圈的两个线头用导线联结起来。采取这种应急措施时，应适当减低负载；使用完毕后就必须按上述修理方法进行修理。

3. 绕组断路的检查与处理

绕组断路（图 4-6）的主要故障原因有：接线头焊接不良而松脱；绕组受到外界机械力的作用而断裂；绕组短路引起绕组发热而断路；在并绕的几根导线中有一根或几根导线断路时，则另几根导线会由于电流密度的增加造成绕组温度逐渐上升，引起绕组断路等等。电动机绕组断路后，电动机将无法

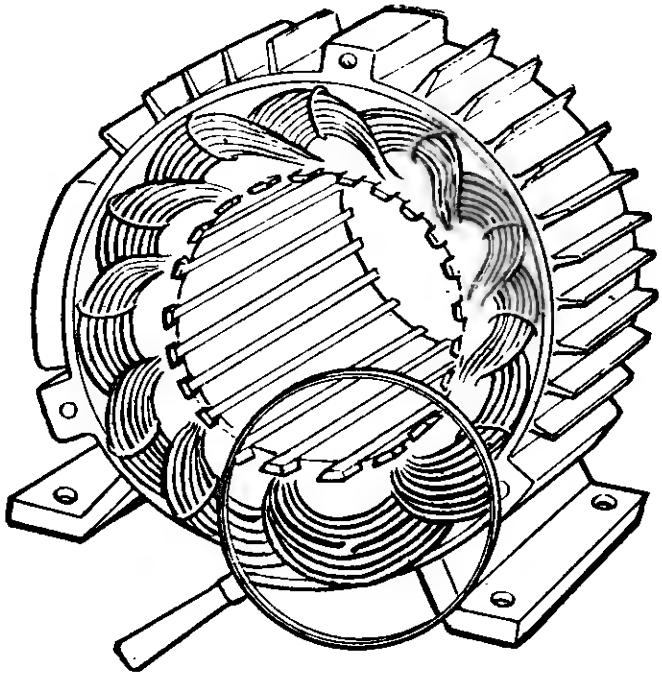


图 4-6　绕组断路故障

起动；多路并联的绕组，当其中有一路断路时电动机虽仍能运转，但会造成电动机三相电流不平衡，转矩下降，转速降低，绕组温度上升。

(1) *检查绕组断路的方法*　一般可用万用表、电桥、兆欧表或校验灯检查绕组断路。如果绕组是一路联结，可用校验灯或兆欧表逐相、逐线圈地进行检查，根据电阻值及通与不通来检查出绕组的断路处。图 4-7 为用电桥测量绕组断路的布置。

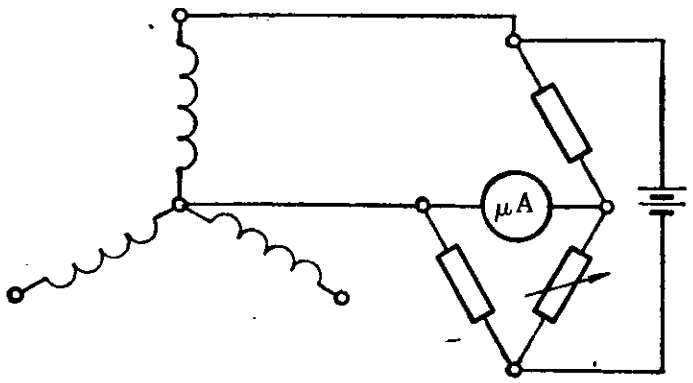


图 4-7　用电桥测量绕组断路

如果绕组是几路并联的，这就先要把每相各路的端头拆开，在每相各路的端头处进行测量，如图 4-8 所示。

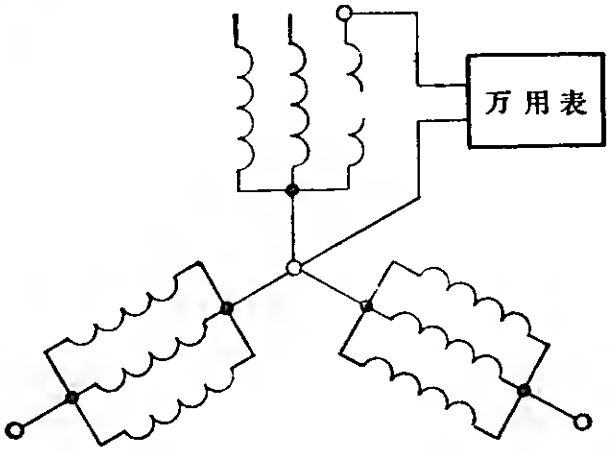


图 4-8　多路并联绕组断路的测法

(2) *绕组断路的修理方法*　检查出绕组断路处在铁心槽外端时，可将断裂的导线重新联结焊好，并包好绝缘(如果导线是 2 根以上并绕的，联结时就必须分清导线的端头，不然会引起电流增大)。如果绕组联结处联结并头焊接不良，可以重新焊接。如因绕组的引出线断裂造成断路，可以更换引出线。绕组断路处如在槽内，如果是个别槽内的线圈，可用穿线法更换个别线圈，方法与短路修理相同。如果绕组断路严重，就必须更换绕组。如果碰到电动机急需使用时，可以采用处理绕组短路故障的跳接法进行处理。采取这种应急措施时，也和跳接短接线圈一样，应略为降低负载。使用完毕后就应按正常修理方法进行处理。

4. 绕组联接错误的检查

绕组联接错误发生在绕组重新嵌绕时。在第二章第五节中讲过，电动机的绕组必须按一定的规则联接。如果联接错误，则由于接错的线圈中电流方向相反，就不能形成旋转磁场，因而电动机不能运行；或由于磁势和电抗不平衡，电动机

将剧烈震动、发出低沉吼声等，此时三相电流严重不平衡，电流迅速上升，电动机将过热甚至烧坏。

联接的错误大致有如下几种情况：某极相组中一只或几只线圈嵌反或头尾接错；极相组接反；某相绕组接反；多路并联绕组的支路接错；△、Y 接法的错误等等。

绕组联接的错误可用以下几种方法来检查。

(1) 滚珠检查法　将电动机的转子取出，在定子铁心腔内放一个滚珠(即滚珠轴承内的滚珠)，然后把定子绕组接上三相电源。如果绕组没有接错，则由于旋转磁场的特性，滚珠就会沿着定子铁心内圆滚转，如图 4-9 所示；如果有绕组接反，由于形成的磁场错乱，滚珠就不会滚转。作这一试验的时间不宜长久，否则会烧坏定子绕组。

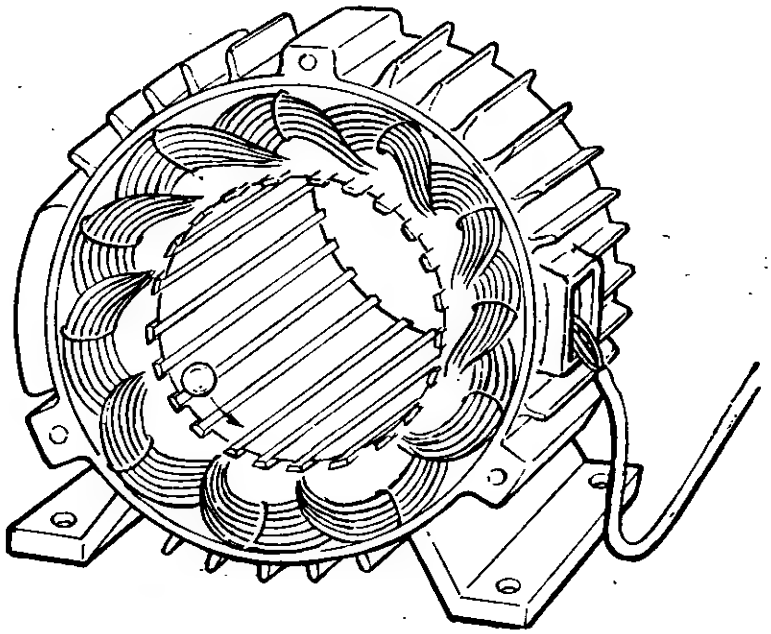


图 4-9　滚珠检查法

用此法可以简捷地试出定子绕组是否接错嵌反，但不能确定是哪个线圈或绕组接错。

(2) 指南针检查法　把一相的绕组接到低压 (3～6 伏)

直流电源(蓄电池、干电池或低压整流器均可)上,用一指南针沿着定子内圆周移动，如图 4-10 所示。如果绕组没有接错，则指南针顺次经过每一极相组时就南北交替地变化；如果指南针经过某一极相组时指向不定，则该极相组的线圈可能接反或嵌反。照这样依次测试三相绕组。

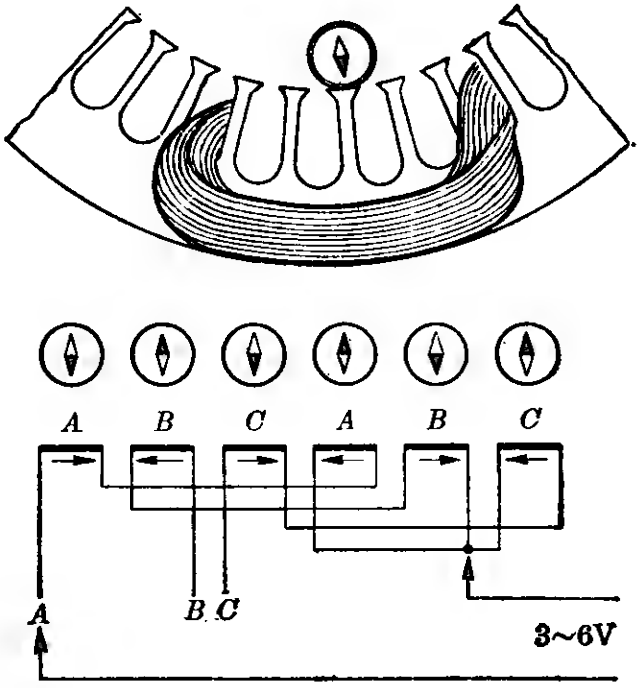


图 4-10　指南针检查法

测试时对于星形接法的绕组可不必拆开联结点，只须将电源两端分别接到中性点和某一相绕组的出线头即可；对于三角接法的绕组则必须拆开三相绕组的联结点,再分别测试。

(3) 灯泡检查法　一般电动机的绕组有 6 个引出线端，每个线端上标明各相绕组的符号,如图 4-11 所示。如果标记失落或标错，就将无法接线或接反相位(如图 4-12)。这时就必须先判明绕组的始末端,方法如下:先用万用表(或兆欧表、挑担灯等) 判明哪两个线端是属于同一相绕组的；然后按图 4-13 或图 4-14，把两相绕组串联，串联的两相和另外一相绕

组分别接上交流电源和灯泡。如果灯泡发光，就表示串联的两相绕组是正串联，即一相的首端接另一相的末端（如图所示）；如果灯泡不亮，则这两相是反串，可将其中一相首尾对

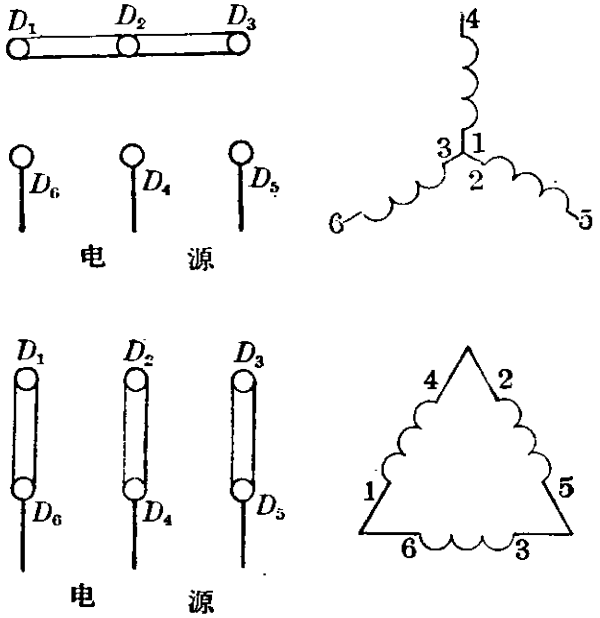


图 4-11　三相绕组的联接和接线盒中的接法

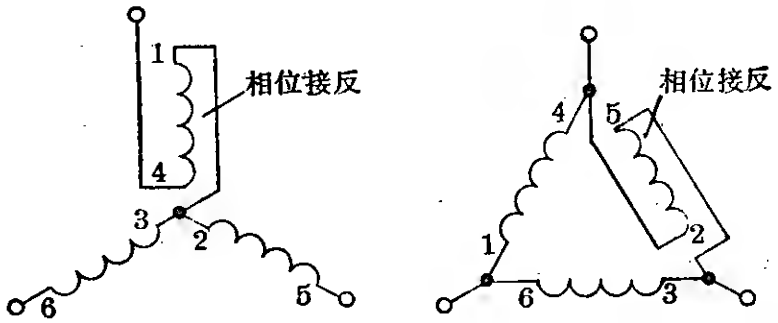


图 4-12　相 位 接 反

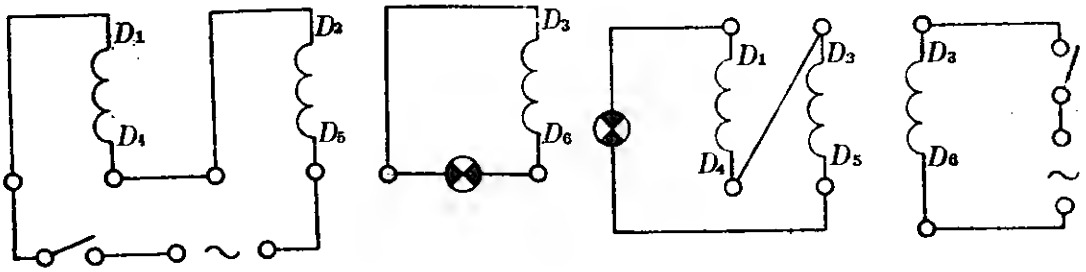


图 4-13　用灯泡鉴别绕组的首尾端(一)

图 4-14　用灯泡鉴别绕组的首尾端(二)

调。判明这两相的首尾端后，再把其中一相与另一相串联，如上法测试，这样就可判别出三相绕组的首尾端。

第二节　转子绕组故障的检查和处理

1. 鼠笼转子故障的检查和修理

鼠笼转子的常见故障是笼条断裂，如图 4-15 所示，但一般不易直接察看得出，可用短路侦察器或铁粉来检查。

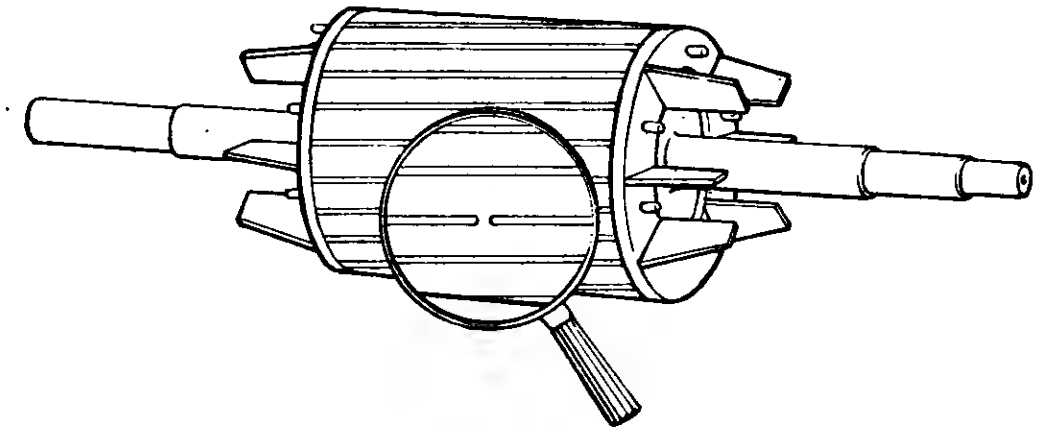


图 4-15　鼠笼转子导条断裂故障

(1) 短路侦察器检查法　如图 4-16，用短路侦察器（与检查定子绕组的相仿，只是铁心端形状不同）串接一个电流表，靠在转子表面一槽一槽地检查（应使转子槽穿过侦察器铁

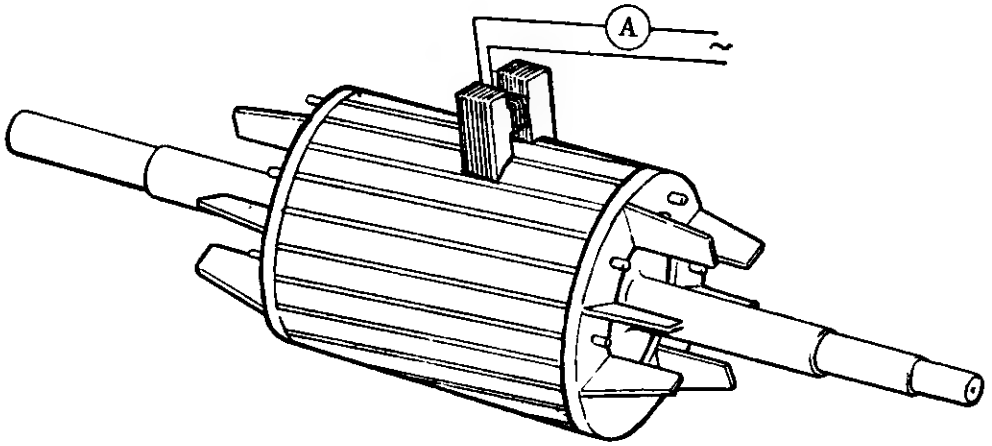


图 4-16　用短路侦察器检查鼠笼转子断条

心窗口)，如检查到某一槽时电流表读数突然减小，这个槽内就有断路故障。也可用一块薄铁片放在转子上，如果转子没有断路故障，薄铁片就会被吸附在转子上并发出“吱吱”响声，若铁片不能吸附，就表示有故障存在(注意，这种现象正好与检查定子绕组相反)。

(2) 铁粉检查法　利用磁场的原理，在转子绕组中通入电流，并在转子上撒上铁粉，从铁粉的分布情况，可以判断绕组是否有故障，如图 4-17 所示。调节调压器从零开始逐渐升高电压，这时候变流器的电流也随着逐渐升高、转子铁心的磁场也逐渐增强。这时候可将铁粉撒在转子上，如果转子绕组没有故障，则转子铁心表面的铁粉就很整齐地按槽的方向排列；如果转子绕组有故障，铁粉就撒不上去而粘附在某一处。

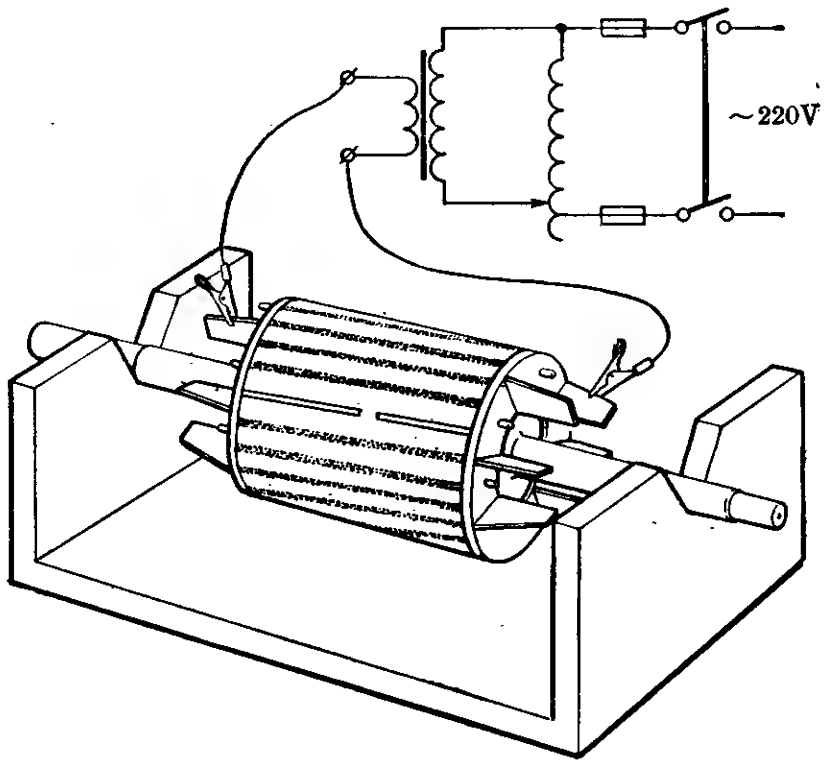


图 4-17　用铁粉检查鼠笼转子断条

(3) 铜条鼠笼断条的修理　如果在槽外明显地方铜条与铜环的焊接处脱焊，可用锉刀清理后用磷铜焊料焊接。如果槽内铜条断裂，但数量不多，可以在断条两端的短路环上开一口缺口，然后用凿子把断裂的铜条凿去，换上与原铜条相同截面积的新铜条，铜条两端伸出短路环约 15 毫米，把伸出端敲弯贴紧在短路环上，然后用气焊焊牢；再在短路环的缺口处用铜焊补上，堆积的高度必须略高于短路环面，焊好后在车床上将突出于短路环表面的高低不平处车平，并校准转子的平衡。如果转子铜条断裂较多，要全部更换，可把转子放到车床上，把转子两端的短路环车去，抽出槽内的铜条，然后照原来铜条截面积换上新铜条，铜条两端应伸出转子铁心槽口约 20 毫米，清除铁心上铜条伸出端附近的油垢，然后依次把铜条伸出端朝一个方向敲弯，彼此重迭贴紧，用铜焊焊接成两端短路环，再放到车床上车削短路环高低不平处，并校准转子的平衡。

(4) 铸铝转子断裂的修理　铸铝转子有断条故障时，要将转子槽内铸铝全部取出更换。但铸铝鼠笼与转子铁心成一个整体，不易取出，可把转子放到 10% 氢氧化钠溶液中，把槽内铸铝腐蚀掉。如果要加速溶化，可将溶液加热。转子铁心从溶液中取出后，应用清水冲净。如果有条件，可以重新铸铝；如缺乏设备与条件，可改为铜条转子，方法与上述铜条转子的修理相同。

铸铝转子改为铜条转子时，考虑到铜条的导电性能比铸铝好，所以铜条的电流密度可比铸铝为高，一般铜条嵌满转子槽内约 2/3 左右即可，勿把转子槽塞满，不然会造成起动转距小而电流增大等情况。

铜条计算方法如下：

铜条电流　　$I_c=\dfrac{23.8\times I_\phi\times Z_1}{Q_2}$

式中：I_ϕ——额定相电流[安]；

Z_1——每相串联匝数；

Q_2——转子槽数。

铜条截面积　　$S_c=\dfrac{I_c}{J_b}$ [毫米]^2

式中：J_b——转子导体的电流密度，一般可取5.5～7.5安/毫米^2（封闭式取较低值，开启式取较高值），铝条一般取3～4安/毫米^2。

转子滞环电流　$I_k=\dfrac{I_c\times(Q_2\times\pi)}{2p}$

式中：I_c——导体电流[安]；

Q_2——转子槽数；

$2p$——极数。

短路环截面积　$S_k=\dfrac{I_k}{J_c}$ [毫米^2]

式中：I_k——滞环电流[安]；

J_c——短路环的电流密度。一般取J_c小于J_b 20～35%左右即可。

2. 绕线式转子绕组故障的检查和修理

(1) 绕线式转子绕组的故障检查　绕线式转子绕组的结构、嵌绕等都与定子绕组相同，所以故障的检查可参考定子绕组故障的检查一节。

(2) 绕线式转子绕组的修理　一般中小型绕线式转子电动机的转子绕组导线多数采用圆铜线（漆包和单纱、双纱漆包），绕组线圈形式有迭绕式和单层同心式，嵌绕工艺可参考定子嵌绕工艺；较大容量的绕线式转子电动机的转子绕组导

线采用扁铜线或裸铜条，线圈的形式一般是单匝波形线圈，由两个元件构成，嵌好后联接成绕组(参阅第二章第四节)。绕线式转子的绕组嵌后端面不准高于转子的铁心面。扁铜线或裸铜条在嵌入槽内前应在外面用绝缘漆和绝缘布带半迭包一层。绕组伸出铁心槽外的端部用纱带包扎，待绕组全部嵌入槽内后，绕组的槽外部分应用钢线绑扎。绑扎工作可以在车床上或简易的架上进行，如图 4-18 所示。绑扎前必须在转子绕组绑扎的部分先卷上一层厚约 0.3～0.5 毫米的绝缘纸板，纸板的宽度应比绑扎后的钢线部分宽度大 20～30 毫米；钢线必须扎紧，绑扎好后在钢线外面焊一层焊锡。绑扎钢线不准高出转子铁心的表面，不然钢线将与定子铁心相擦。全部完毕后，转子绕组同样要经过浸漆与烘焙处理。浸漆时应注意勿使绝缘漆沾染到转子的滑环部分。修好的转子应校准平衡。

有时绕线转子的滑环部分已损坏，在电源容量和使用条

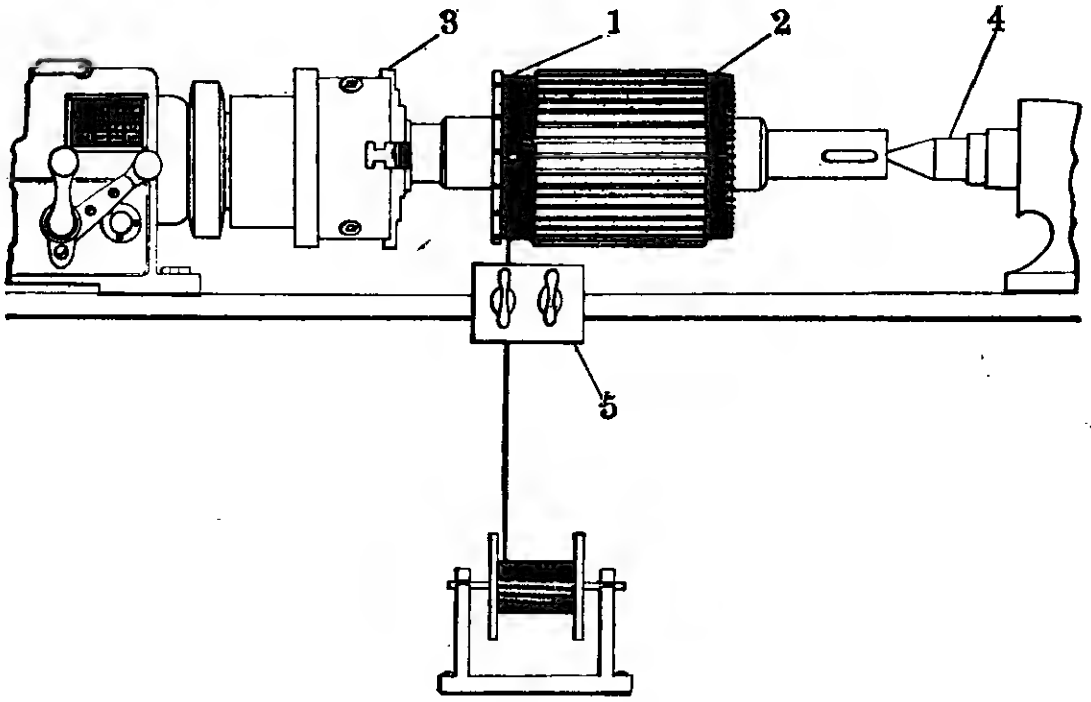


图 4-18　绕线转子绑扎钢线

1, *2*—绑扎钢线；　*3*—车床卡盘；　*4*—车床后顶尖；　*5*—夹线板

件许可的情况下，为简化修理工作起见，可以把绕线转子改作鼠笼转子。一般就把绕组的三根引出线拼在一起当作鼠笼式转子，但这样的作法很可能造成第三章第二节所介绍的电动机起动时出现"死点"，就是转轴在某些位置时电动机不能起动。要解决这个问题，可以把绕线转子绕组两端伸出铁心外的尾端部切断，使绕组成为鼠笼条似的铜条，导线两端应伸出槽外 20 毫米，然后把导线的伸出端朝一个方向敲弯，彼此重迭贴紧，再用铜条焊接成两端短路环，放到车床上将短路环两端面车平，并校准转子的平衡。用此种方法改制会使电流略为增高，最好是按铜条的电流密度重新计算换入铜条，或把槽内的导线抽去一部分，使槽内保持 2/3 的导线。

第三节　定子绕组重嵌工艺

当电动机故障较严重时，就必须把整个绕组拆去，重新嵌新绕组。拆换绕组的工作可按下列步骤进行：①记录数据；②拆除绕组；③放定子槽内绝缘；④绕制线圈；⑤嵌线；⑥联接线圈；⑦试验绕组；⑧浸绝缘漆与烘焙。下面按上述步骤逐一介绍。

1. 记录数据

电动机的绕组是根据电动机的设计性能要求而设计的，在修理中除需改变性能要求如改变电压、改变极数等等外，勿轻易更动绕组的原来设计。有时需要增减绕组的匝数，也只是在绕组原来设计的基础上根据各部分损耗情况作一些适当的调整。如果要改变电压，改变极数，或原来性能较差（如旧式电机）而需重新计算绕组，也是在原来绕组设计的基础上进行核对、比值、调整。因此必须详细记录电动机的技术数据作为修理或改绕的依据，一般应作好下列主要记录：①在拆除绕

组前尽可能进行运行试验（绕组损坏除外），记录电动机的绕组温升、三相电流值、负载下工作的效能和故障的原因；②按名牌详细记录电动机的型号、功率、电压、电流、转速、接法、转子电流等技术数据；③在拆除绕组前仔细检查电动机的绕组是不是出厂时的绕组还是已经更换过的；④在拆除绕组的过程中详细记录电动机的每槽匝数（单双层），线圈的形状（迭绕式、链绕式、波绕式），绕组线圈的跨距，绕组的联接方法（△/Y，并联支路数，）导线的规格（单双层纱包、高强度漆包，导线直径），槽内的绝缘材料；⑤拆除绕组后测量铁心各部分的尺寸：槽数、铁心外径和内径、长度（净长）、齿宽、槽宽、轭厚、定子与转子间隙、硅钢片质量（硅钢，黑铁片，拼片）。如果绕线转子绕组需更换，同上述一样作记录。

2. 拆除旧绕组

电动机的绕组经过上绝缘漆、烘焙等处理，坚硬而不易拆下。为了保证电动机质量，一般不应把定子放到火中加热，因为这样会破坏硅钢片间的绝缘，使涡流增大，而且造成铁心朝外松弛；铁心钢片经加热，本身性能也会起变化。下面介绍几种拆除旧线的方法。

(1) 冷拆法　首先拆除槽楔，这可用刀片（可利用坏机锯条磨制成）把槽楔从中间破开后取出，然后用斜口钳把定子一端的绕组端接部分逐根剪断，在另一端用钳子把导线逐根地从槽内拉出。在取出旧导线时应按绕组顺序逐一拉出，勿用力过猛或多根并拉，以免损坏槽口。

(2) 局部加热法拆除　如上把槽楔取出，用斜口钳把绕组两端剪断，也可用手锯把两端锯掉，用喷火器（柴油喷灯）对准槽口加热，使槽内绕组绝缘软化焦脆（加热时间不宜过长，待绝缘软化即可），然后把切断的导线逐根地从槽内取出。

(3) 大电流加热拆除　在电动机绕组中通入大电流，使绝缘物软化。这可以在绕组的接线处接上单相220伏的交流电(须装闸刀开关、保险丝等)；或用变压器"短路加热法"，将变压器的次级接在一相的头、尾两端；也可用电焊机通入大电流，电焊机的电焊枪头钳牢一相绕组的头，另一端(电焊机的地线)接在绕组的尾；如果碰到电焊机变压器功率不够大时，可拆除电动机的绕组的联结，在局部绕组线圈中通入大电流。如果要利用旧线重上绝缘嵌绕，应适当控制绕组的温度，只要加热到绝缘物软化即可。绝缘物软化后就可以按原来绕组排列的顺序逐只线圈地取出。

(4) 化学法拆除　用药剂腐蚀绝缘物（以不腐蚀硅钢片为前提)来拆除绕组，用这种方法能把槽楔与绝缘物腐蚀掉，也较容易清除剩余的绝缘物。一般用氢氧化钠(烧碱)作腐蚀剂，把定子绕组浸到氢氧化钠溶液（氢氧化钠1公斤加水10公斤)中腐蚀。因氢氧化钠能腐蚀铝，故电动机上的铝质名牌应取下，铝壳电动机也不宜用此法。

浸溶时间约2～3小时(如需加快，可将溶液加热至80～100℃)。定子绕组从溶液中取出后必须用清水冲洗干净（勿使皮肤接触溶液)，然后按绕组顺序逐一抽出旧导线。

电动机槽内的旧线全部拆除后，应将槽内的残余绝缘物清除干净(用细锉、喷灯、化学法)。如果硅钢片有凹斜可用钳子把它修平。槽的齿口有毛刺，应用细锉锉光磨平。在拆除过程中尽可能地保存一只完整的旧线圈，以便于按原样制作绕线模。

3. 制放槽内绝缘物

电动机槽内的绝缘物应按电动机的规定绝缘等级选用，常用各级绝缘物见表4-2。

表 4-2　异步电动机中常用各级绝缘材料

A 级 极限温度 105°C	油性玻璃布 1 层、加绝缘纸 2 层
E 级 极限温度 120°C	薄膜 1 层、青壳纸 1 层、玻璃漆布 1 层
B 级 极限温度 130°C	薄膜 1 层、云母板 1 层、玻璃漆布 1 层、绝缘纸 1 层
F 级 极限温度 155°C	玻璃漆布 2 层、云母板 1 层(硅有机改性的醇酸漆浸渍)
H 级 极限温度 180°C	硅有机玻璃漆布2层加有机树脂粘合柔软片云母板1层

一般低压电动机采用 A 级绝缘，通常用 0.15～0.20 毫米黄蜡布 1 层和青壳纸 2 层组成，或 1 层薄膜 1 层青壳纸组成；双层绕组上下两层间用0.15～0.20毫米薄膜青壳纸1层；绕组端部槽外部分用 1 层黄蜡布 1 层青壳纸组成的三角形相间绝缘把相间隔开。槽内的绝缘物要伸出槽外 10 毫米左右，宽度等于槽周长，如图 4-19 所示，另一层(进槽纸)比槽周长宽一半。双层绕组槽内上下两层间的一层青壳纸的长度比槽长 10～15 毫米，宽比槽宽 4～6 毫米，并折迭成 U 型。裁剪绝

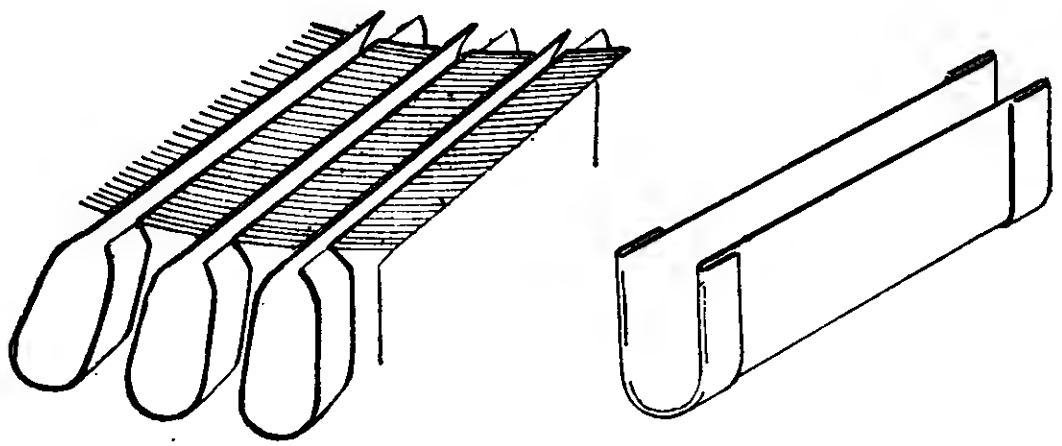


图 4-19　槽　绝　缘

缘材料可用裁剪照片用的铡刀，裁剪时应注意纤维的方向要能获得最高的机械强度，黄蜡布应按同纤维成45°角的方向裁剪，青壳纸的纤维方向应同槽绝缘宽的方向一致，如图4-20所示。把制成的绝缘纸与黄蜡布折迭齐后放到槽内，使绝缘纸与槽体边贴合（不贴合可用竹楔穿入槽内把绝缘物压平）。

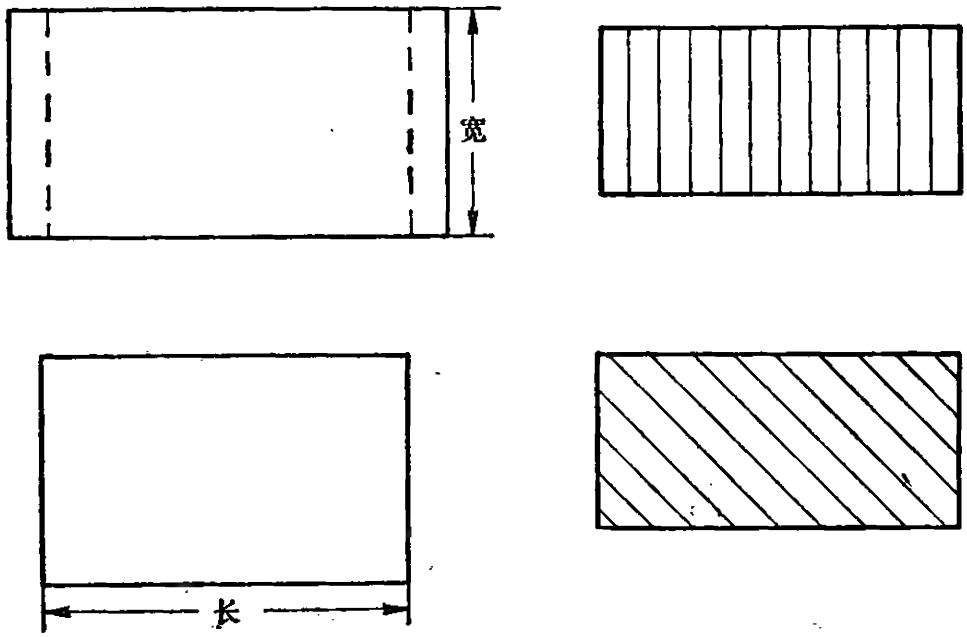


图4-20　绝缘材料的裁剪方向

4. 制槽楔

槽楔的作用是将绕组固定在槽内，以免由于绕组移动而破坏绝缘物。槽楔一般用竹、木、绝缘板、胶木板等制成。槽楔的长度比槽长6～10毫米，厚度根据电动机的槽满率而定，槽内导线越少，空隙越大，槽楔越厚。槽楔不宜太薄，应紧贴绝缘物。如果槽子过于松，例如早年生产的电动机原来绕组是用双纱包线而现在改用高强度漆包线，这样一根槽楔也无济于事，如果导线嵌入后上面加过厚的槽楔，不但嵌后不够美观，而且会影响电流，增加漏磁等，所以应该在嵌绕组前在槽

底内垫上绝缘物或胶木板。制成的槽楔要十分干燥，可把槽楔放到加热的机器油 (100℃) 中煎干。槽楔的截面积应如图 4-21(*a*) 所示的形状，槽楔头端下面应切去 1/3，这样打入槽内就不会擦伤槽内的绝缘物了。

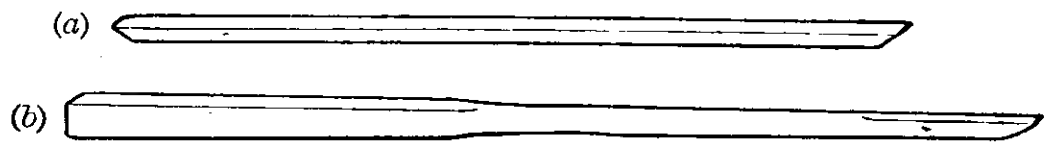


图 4-21　槽楔和竹楔

5. 制作木模

在绕制电动机绕组的线圈前，应根据原旧线圈的形状和尺寸或根据需更动的节距来制作绕线木模。电动机有大小，绕组也有不同的形式(如单层同心式、单层链式、单层交叉式、双层棱形等)，这就需很多的木模。为了达到一模多用，这里介绍一些简易的多用木模制作方法。图 4-22 所示的木模，节距是不变的，但可以按铁心的长度调节线圈的长度，材料可用 10 毫米厚的胶木板，按图中形状制成各个零件，对于不同的节距，只要多做一些小模板就可。绕线时，松动木模上的元宝罗母，按铁心长度调整好小模板的位置，再拧紧元宝罗母，就可装到绕线车上绕线。用同样的模板几块迭起来，就可连续

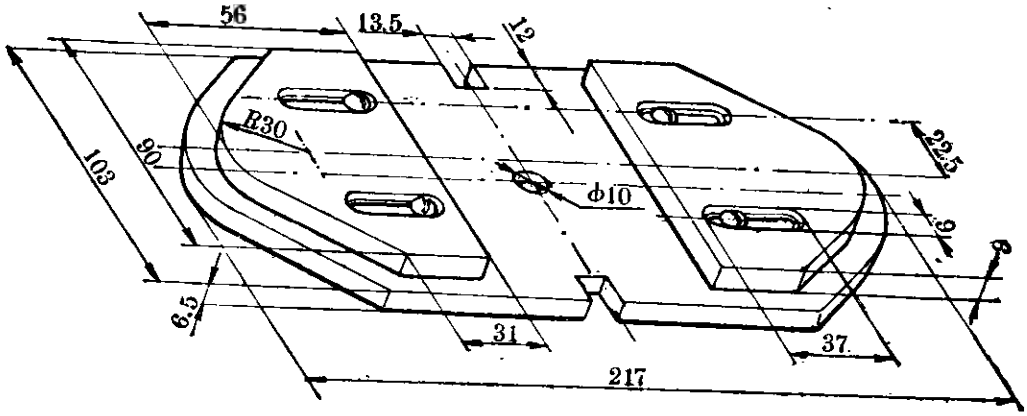


图 4-22　简易多用绕线模(一)

绕制一联(一个极相组)线圈。

图4-23示另一种简易木模,模板可用胶木板或木板制作,在板上钻几排孔(图中示三排孔,若要适用于不同节距,可多钻几排孔),用六根竹棒插入孔中,每根竹棒上安放一个外径约12毫米、厚10毫米的胶木垫圈(如图中所示大圆),再安上一块同样的模板,装夹到绕线车上,就可绕线。若要连绕几只线圈,只要多做几块模板和若干胶木垫圈,竹棒放长些,装夹在一起就可。

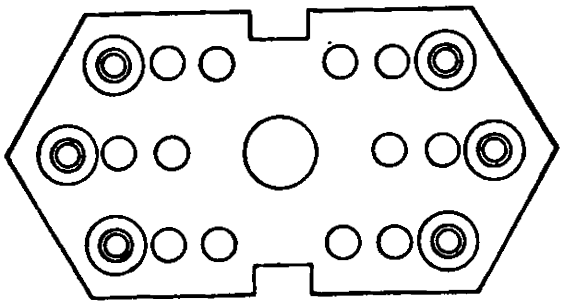


图4-23 简易多用绕线模(二)

图4-24所示是一种适用于同心式绕组的绕线模,模板可用木板制作,模板的短边(四块小模板的外围)相当于铁心长,长边相当于节距(实际应略长于节距,因为线圈的端接部分要做成弧形),四块小模板各用两只木罗丝根据线圈的尺寸固定在大模板上,构成线框。用同样形状而大小不等几个线模迭装起来,就可绕制同心式线圈。

图4-25是用于绕制潜水电泵同心链形定子绕组的绕线

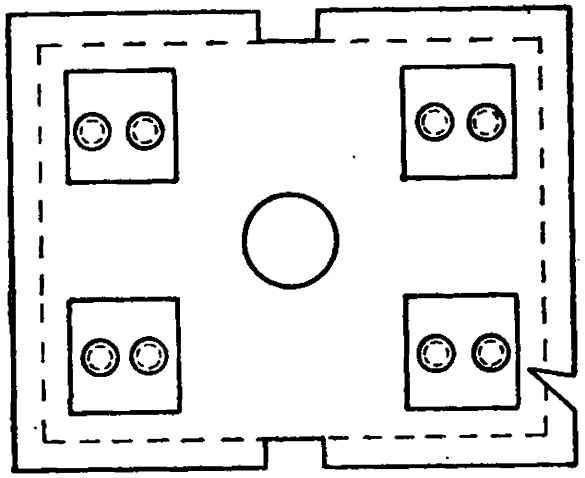


图4-24 用于同心线圈的绕线模

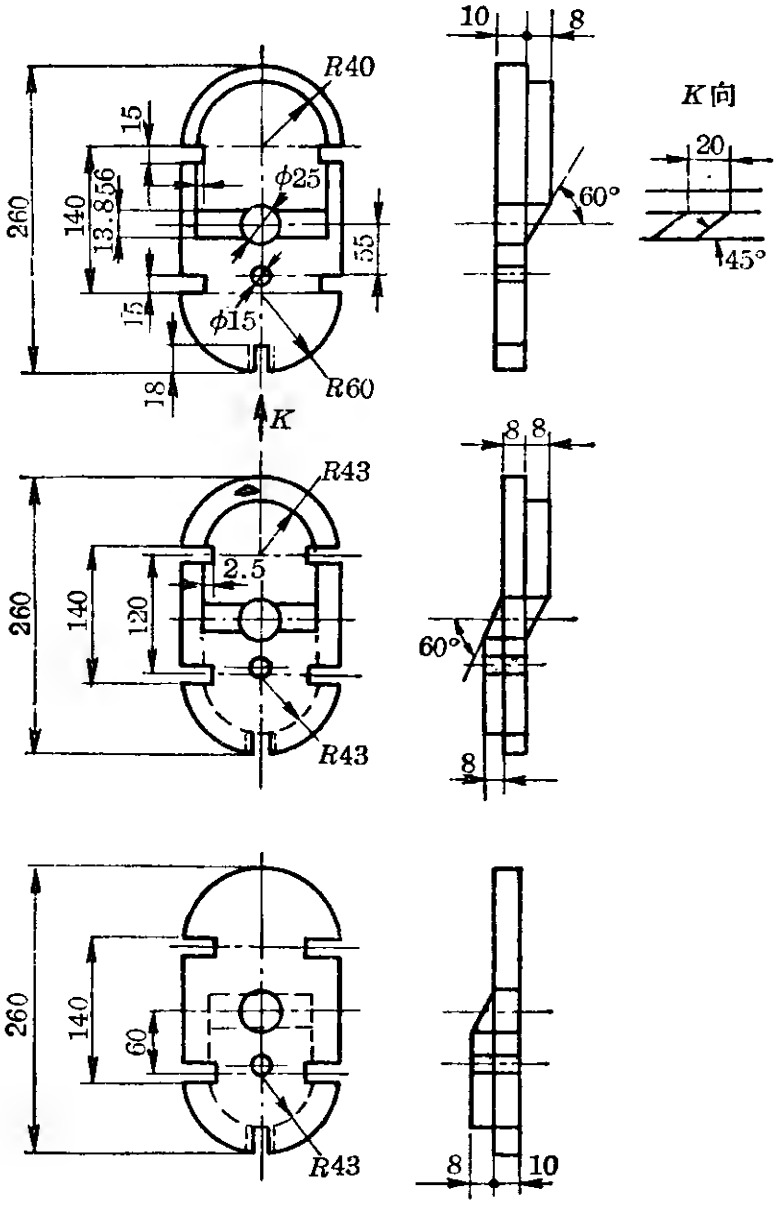


图 4-25　QY 型和 JQB 型潜水电泵同心链形绕组绕线木模

木模。

图 4-26 示一种铁制的万用绕线模，装夹在专用的绕线机上或普通车床上绕线，可适用于不同的节距和线圈长度，调整方便，线圈绕好后只要扳动手柄，线圈立即松脱下来，再将手柄扳紧，立即可以绕制同样的线圈而不用重新调整。这种绕线模对于需要修理各种大小的电动机而同样规格的却不多的

修理单位，很为适用。不过绕线模结构比较复杂，需要有一定的加工条件才能制作。

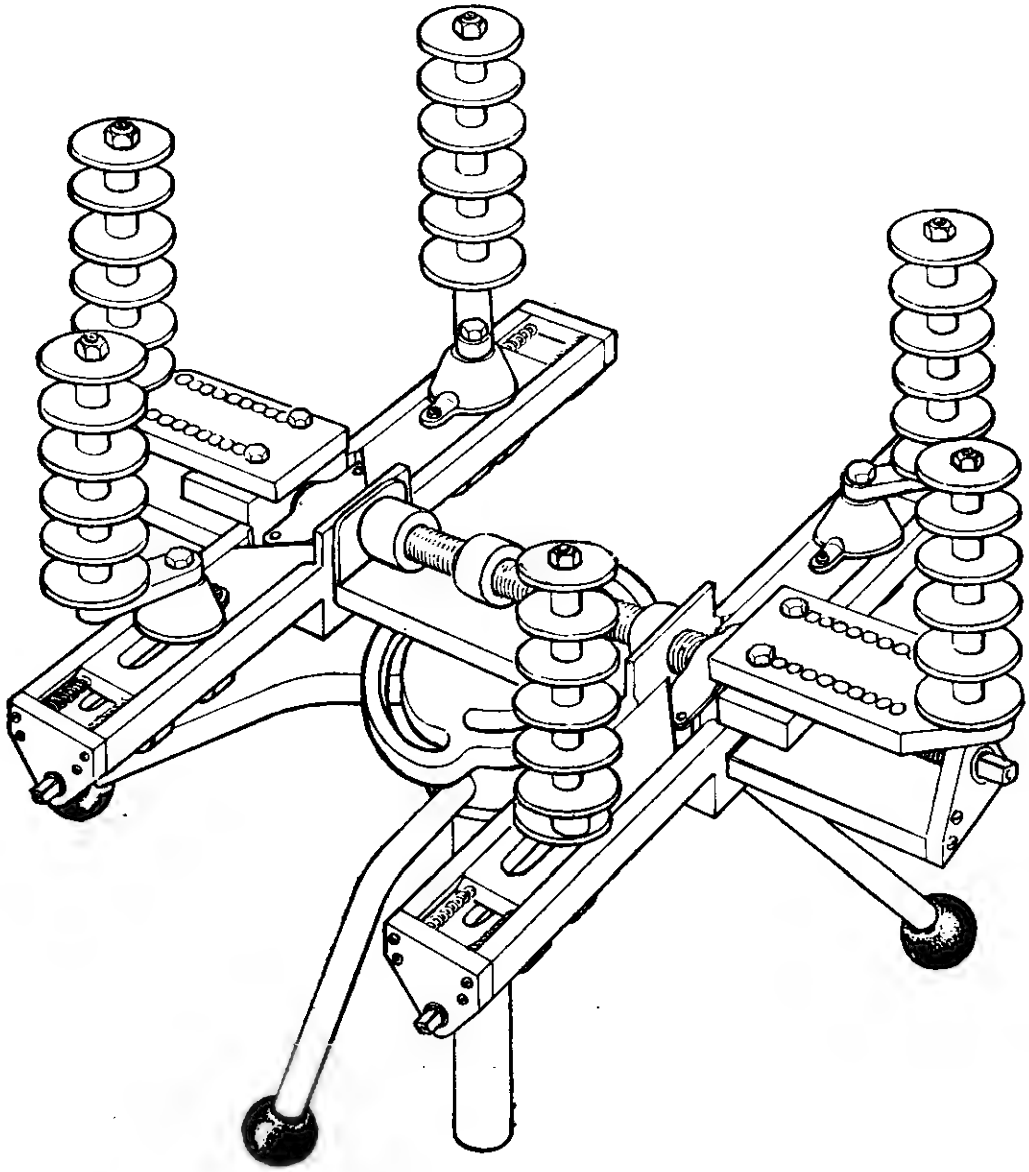


图4-26 万用绕线模

6. 绕制线圈

在绕制线圈前必须先搞清楚所需要绕制的线圈的联数（极相组数），每个极相组的线圈尽可能连续绕制，这能够减少接头和线圈反接的错误。线圈伸出槽外直线部分的长度一般为每边15毫米（可视嵌线技术的熟练程度而略有上下，如还不

太熟练，不妨略为放长一些)。在绕制中应注意绕制线圈的匝数，不能有差错，特别是中大型电动机更不能有错，因线圈匝数若有上下，会直接影响电动机三相电流的平衡。绕线木模装到绕线车的主轴上，须用紧固螺栓把木模的两侧夹板夹紧，

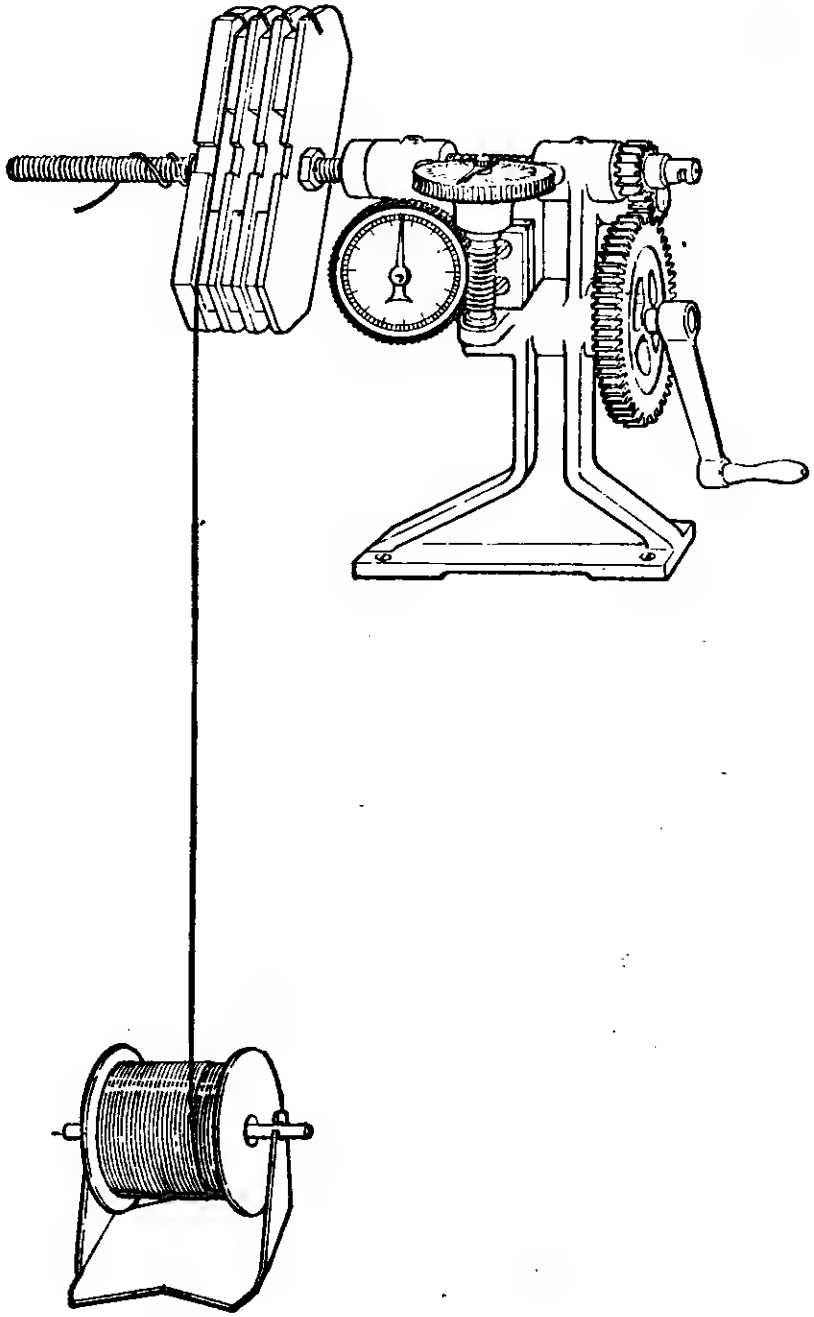


图 4-27　绕线的布置

如图 4-27；导线筒搁在绕线架上能灵活转动，并与绕线车有一定距离；导线通过模板(夹板)进入模槽时应有一定的张力，使导线平直无曲折。导线在模槽中排列要整齐，层次分清，勿使导线交叉重迭(交叉重迭不但绕组不美观，而且造成嵌线困难)。绕到规定的匝数时，用纱线通过模板的纱线槽把线圈扎紧，勿使松散。线圈的头尾分别做好记号，然后剪断导线；线圈的头尾应略放长些，一般约相当于线圈的 1/3 匝，以便于绕组的联接。在绕制中如果遇到导线不够，需要连接时，它的焊接处应选择在线圈的端部，不准选择在线圈的两边，否则导线就可能嵌不进槽，而且即使能够嵌入槽内，一旦因焊接不良而断路，就不易检查和修理了。焊接处应套上塑料套管。4.5 千瓦以上的电动机，每绕制好一只线圈，应在头尾两端套上塑料套管，以免嵌后不易套。

绕制线圈的电磁线应选用原来规格；对于老式电动机，可以改用现在的性能优良的电磁线；如涉及改变导线粗细等问题时，应核算导线截面和槽满率等。常用电磁线的规格见表 4-3 至表 4-9。

7. 嵌线

嵌线就是把绕好的线圈嵌放到定子槽中。关于线圈在定子槽内的排列可参阅第二章，这里只讲嵌线的工艺。嵌线时必须注意线圈头尾方向，放错了以后就会无法联接。线圈的头尾都是在线圈的同一端(参见图 4-28)；线圈的头尾端应该在机座的接线盒靠向修理人员身边时放在右手一侧的定子端，嵌线时线圈就按这样的方向进槽，如图 4-28(*b*) 所示。但在嵌几只一联的线圈时，为避免线圈之间的过桥线纠缠搞错，线圈在进槽之前放在定子外时，应将头尾一端朝向定子，逐一调头进槽。

表 4-3　电磁线的分类及用途

型　号	名　　称	主 要 特 性 及 用 途	被替代的淘汰产品	
			名　　称	型　　号
Q	油性漆包圆铜线	作小型电机、电器和仪表的绕组用，绝缘层的机械强度较差(属A级)	单、双纱包(编织)圆铜线	M、MJ、ME、MEJ、MBM
QQ	高强度聚乙烯醇缩醛漆包圆铜线	作电机、电器和仪表绕组用，漆层机械强度高，电气性能好	单、双纱包漆包圆铜线	QM、QMJ、QME、QMEJ
QZ	高强度聚酯漆包圆铜线	作中小型电机、电器、仪表和电信设备等的绕组用，机械强度较高，耐温130°C以下，属B级，抗溶剂的特性好		
QZL	高强度聚酯漆包圆铝线	用途同上，热稳定性及使用年限较QZ好，成本比QZ低20%以上		
QY	耐高温聚酰亚胺漆包圆铜线	适用于制造耐温200°C以下的电机、电器和仪表的绕组，属H级，具有耐放射性、耐油、耐药品、耐溶剂等性能		
QSR	单人丝(合成)漆包圆铜线	用途同上，机械强度、介电性能、化学稳定性、耐潮性等均较QST优越，成本亦低	单丝(天然丝)漆包圆线	QST
SBEC SBELC	双玻璃丝包圆铜线 双玻璃丝包圆铝线	用途同上，外径与纱包线相同，但耐温等级高，可用在工作于 −60°～+150°C 的绕组中		

（续表）

型　号	名　　称	主 要 特 性 及 用 途	被替代的淘汰产品	
			名　　称	型　　号
QQSBC	单玻璃丝包高强度漆包圆铜线	用途同上，工作温度可达 −60°～+125°C	单丝（天然丝）漆包圆线	QST
QQB	缩醛漆包扁铜线	同 QQ	单、双纱包（编织）扁线	MB、MBJ、MEB、MEBJ MBMB
QZB	高强度聚酯漆包扁铜线	同 QZ，其特点是槽满率高		
QZLB	高强度聚酯漆包扁铝线	同上		
SBECB	双玻璃丝包扁铜线	同 SBEC		
SBELCB	双玻璃丝包扁铝线	同上		
ZB	纸包扁铜线	作变压器绕组		
ZLB	纸包扁铝线	作变压器绕组		
YML	氧化膜铝线	用作中小型电机、变压器及低压电器的绕组，轻而耐热，绝缘层极薄且有耐辐射性		
QXY	H 级高强度漆包圆铜线	漆膜厚度较双层薄，但机械性能及电气性能超过硅有机玻璃丝包线		
QHNS	高强度耐水漆包圆铜线	制造湿式充水电机绕组，能耐热、耐潮、耐化学腐蚀并具有较高的机械强度		

表 4-4　Q 型、QQ型及 QZ 型漆包线规格

裸线直径(毫米)	漆包线最大外径(毫米)			漆包线重量(公斤/千米)				
	Q	QQ	QZ、QZL QY	Q	QQ	QZ	QZL	QY
0.05	0.065	—	—	0.018	—	—	—	—
0.06	0.075	0.09	0.09	0.026	0.028	0.028	0.01140	0.029
0.07	0.085	0.10	0.10	0.036	0.037	0.037	0.01458	0.039
0.08	0.095	0.11	0.11	0.046	0.047	0.047	0.01828	0.050
0.09	0.105	0.12	0.12	0.058	0.059	0.059	0.02241	0.063
0.10	0.120	0.13	0.13	0.072	0.074	0.074	0.02690	0.076
0.11	0.130	0.14	0.14	0.087	0.087	0.087	0.03111	0.092
0.12	0.140	0.15	0.15	0.104	0.104	0.104	0.03721	0.108
0.13	0.150	0.16	0.16	0.120	0.120	0.120	0.04302	0.126
0.14	0.160	0.17	0.17	0.140	0.140	0.140	0.04931	0.145
0.15	0.170	0.19	0.19	0.161	0.161	0.161	0.05918	0.167
0.16	0.180	0.20	0.20	0.183	0.183	0.183	0.06646	0.189
0.17	0.190	0.21	0.21	0.206	0.206	0.206	0.07415	0.213
0.18	0.200	0.22	0.22	0.230	0.230	0.230	0.08222	0.237
0.19	0.210	0.23	0.23	0.256	0.256	0.256	0.09081	0.264
0.20	0.225	0.24	0.24	0.285	0.285	0.285	0.09968	0.292
0.21	0.235	0.25	0.25	0.314	0.314	0.314	0.10916	0.321
0.23	0.255	0.28	0.28	0.376	0.376	0.376	0.1334	0.386
0.25	0.275	0.30	0.30	0.443	0.443	0.443	0.1555	0.454
0.27	0.31	0.32	0.32	0.519	0.519	0.519	0.1793	0.529
0.29	0.33	0.34	0.34	0.598	0.599	0.598	0.2046	0.608
0.31	0.35	0.36	0.36	0.685	0.685	0.685	0.2318	0.693
0.33	0.37	0.38	0.38	0.775	0.775	0.775	0.2604	0.784
0.35	0.39	0.41	0.41	0.871	0.871	0.871	0.2984	0.884
0.38	0.42	0.44	0.44	1.025	1.025	1.025	0.3478	1.04
0.41	0.45	0.47	0.47	1.195	1.195	1.195	0.4012	1.21
0.44	0.49	0.50	0.50	1.374	1.374	1.374	0.4582	1.39
0.47	0.52	0.53	0.53	1.566	1.566	1.566	0.5192	1.58
0.49	0.54	0.55	0.55	1.701	1.701	1.701	0.5618	1.72
0.51	0.56	0.58	0.58	1.846	1.843	1.843	0.6168	1.87
0.53	0.58	0.60	0.60	1.992	1.987	1.987	0.6638	2.02
0.55	0.60	0.62	0.62	2.144	2.144	2.144	0.7114	2.17
0.57	0.62	0.64	0.64	2.302	2.302	2.302	0.7614	2.34
0.59	0.64	0.66	0.66	2.466	2.466	2.466	0.8127	2.50
0.62	0.67	0.69	0.69	2.720	2.720	2.720	0.8935	2.76

(续表)

裸线直径(毫米)	漆包线最大外径(毫米)			漆包线重量(公斤/千米)				
	Q	QQ	QZ、QZL QY	Q	QQ	QZ	QZL	QY
0.64	0.69	0.72	0.72	2.897	2.897	2.987	0.9485	2.94
0.67	0.72	0.75	0.75	3.173	3.163	3.163	1.0181	3.21
0.69	0.74	0.77	0.77	3.374	3.374	3.374	1.1080	3.41
0.72	0.78	0.80	0.80	3.637	3.640	3.640	1.2010	3.70
0.74	0.80	0.83	0.83	3.882	3.882	3.882	1.2814	3.92
0.77	0.83	0.86	0.86	4.196	4.196	4.196	1.3821	4.24
0.80	0.86	0.89	0.89	4.427	4.527	4.527	1.4867	4.58
0.83	0.89	0.92	0.92	4.870	4.842	4.842	1.5941	4.92
0.86	0.92	0.95	0.95	5.227	5.227	5.227	1.7059	5.27
0.90	0.96	0.99	0.99	5.721	5.709	5.709	1.8612	5.78
0.93	0.99	1.02	1.02	6.107	6.107	6.107	1.981	6.16
0.96	1.02	1.05	1.05	6.525	6.493	6.493	2.1055	6.56
1.00	1.07	1.11	1.11	7.069	7.069	7.069	2.3166	7.14
1.04	1.12	1.15	1.15	7.643	7.620	7.620	2.4982	7.72
1.08	1.16	1.19	1.19	8.240	8.240	8.240	2.6850	8.32
1.12	1.20	1.23	1.23	8.860	8.860	8.860	2.8786	8.94
1.16	1.24	1.27	1.27	9.50	9.510	9.510	3.081	9.95
1.20	1.28	1.31	1.31	10.16	10.161	10.161	3.2893	10.4
1.25	1.33	1.36	1.36	11.02	11.021	11.021	3.5547	11.2
1.30	1.38	1.41	1.41	11.91	11.912	11.912	3.8360	12.1
1.35	1.43	1.46	1.46	12.84	12.832	12.832	4.1262	13.0
1.40	1.48	1.51	1.51	13.81	13.819	13.819	4.4276	14.0
1.45	1.53	1.56	1.56	14.81	14.802	14.802	4.7420	15.0
1.50	1.58	1.61	1.61	15.84	15.847	15.847	5.0617	16.0
1.56	1.64	1.67	1.67	17.13	17.130	17.130	5.4658	17.3
1.62	1.71	1.73	1.73	18.51	18.456	18.456	5.8800	18.6
1.68	1.77	1.79	1.79	19.82	19.843	19.843	6.3123	20.0
1.74	1.83	1.85	1.85	21.22	21.262	21.262	6.7506	21.4
1.81	1.90	1.93	1.93	23.11	23.030	23.030	7.3168	23.3
1.88	1.97	2.00	2.00	24.93	24.845	24.845	7.886	25.2
1.95	2.04	2.07	2.07	26.73	26.730	26.730	8.4626	27.0
2.02	2.12	2.14	2.14	28.77	28.659	28.659	9.065	29.0
2.10	2.20	2.23	2.23	30.88	31.002	31.002	9.820	31.3
2.26	2.36	2.39	2.39	32.37	35.892	35.892	11.324	36.1
2.44	2.54	2.57	2.57	34.54	41.802	41.802	13.161	42.2

表 4-5　各种纤维包绝缘电磁线规格

裸线直径(毫米)	绝缘线最大外径(毫米)							绝缘线重量(公斤/千米)						
	QST QSR	QM	QME	M	ME	QQSBC	SBEC	QST QSR	QM	QME	M	ME	QQSBC	SBEC
0.05	0.13	—	—	—	—	—	—	0.0329	—	—	—	—	—	—
0.06	0.14	—	—	—	—	—	—	0.0423	—	—	—	—	—	—
0.07	0.15	—	—	—	—	—	—	0.0531	—	—	—	—	—	—
0.08	0.16	—	—	—	—	—	—	0.0653	—	—	—	—	—	—
0.09	0.17	—	—	—	—	—	—	0.0790	—	—	—	—	—	—
0.10	0.18	—	—	—	—	—	—	0.0932	—	—	—	—	—	—
0.11	0.19	—	—	—	—	—	—	0.110	—	—	—	—	—	—
0.12	0.20	—	—	—	—	—	—	0.127	—	—	—	—	—	—
0.13	0.21	—	—	—	—	—	—	0.147	—	—	—	—	—	—
0.14	0.22	—	—	—	—	—	—	0.167	—	—	—	—	—	—
0.15	0.23	—	—	—	—	—	—	0.189	—	—	—	—	—	—
0.16	0.24	—	—	—	—	—	—	0.212	—	—	—	—	—	—
0.17	0.25	—	—	—	—	—	—	0.237	—	—	—	—	—	—
0.18	0.26	—	—	—	—	—	—	0.263	—	—	—	—	—	—
0.19	0.27	—	—	—	—	—	—	0.290	—	—	—	—	—	—
0.20	0.30	0.33	—	0.31	0.40	—	—	0.322	0.335	—	0.324	0.385	—	—
0.21	0.31	0.34	—	0.32	0.41	—	—	0.352	0.367	—	0.355	0.417	—	—
0.23	0.33	0.36	—	0.34	0.43	—	—	0.417	0.432	—	0.421	0.485	—	—
0.25	0.35	0.38	—	0.36	0.45	—	—	0.488	0.504	—	0.492	0.560	—	—
0.27	0.38	0.44	—	0.40	0.50	—	—	0.569	0.598	—	0.581	0.667	—	—
0.29	0.40	0.46	—	0.42	0.52	—	—	0.651	0.682	—	0.663	0.753	—	—
0.31	0.43	0.48	—	0.44	0.54	—	—	0.742	0.774	—	0.751	0.845	—	—
0.33	0.45	0.50	—	0.46	0.56	—	—	0.836	0.871	—	0.845	0.942	—	—
0.35	0.47	0.52	—	0.48	0.58	—	—	0.935	0.971	—	0.944	1.050	—	—
0.38	0.50	0.56	—	0.51	0.61	—	—	1.09	1.13	—	1.11	1.222	—	—
0.41	0.53	0.59	—	0.54	0.64	—	—	1.27	1.31	—	1.27	1.395	—	—

（续表）

裸线直径（毫米）	绝缘线最大外径（毫米）							绝缘线重量（公斤/千米）						
	QST QSR	QM	QME	M	ME	QQSBC	SBEC	QST QSR	QM	QME	M	ME	QQSBC	SBEC
0.44	0.56	0.62	—	0.57	0.67	—	—	1.45	1.50	—	1.46	1.588	—	—
0.47	0.59	0.65	—	0.60	0.70	—	—	1.65	1.69	—	1.66	1.791	—	—
0.49	0.61	0.67	—	0.62	0.72	—	—	1.79	1.84	—	1.80	1.939	—	—
0.51	0.64	0.69	—	0.64	0.74	—	0.75	1.94	1.99	—	1.94	2.088	—	2.476
0.53	0.66	0.71	—	0.66	0.76	—	0.79	2.09	2.14	—	2.09	2.236	—	2.679
0.55	0.68	0.73	—	0.68	0.78	—	0.81	2.25	2.30	—	2.24	2.395	—	2.853
0.57	0.70	0.75	—	0.70	0.80	—	0.83	2.40	2.46	—	2.41	2.554	—	3.033
0.59	0.72	0.77	—	0.72	0.82	—	0.85	2.57	2.63	—	2.57	2.732	—	3.216
0.62	0.75	0.80	—	0.75	0.85	—	0.88	2.83	2.89	—	2.83	2.923	—	3.502
0.64	0.77	0.82	—	0.77	0.87	—	0.90	3.01	3.07	—	3.01	3.184	—	3.701
0.67	0.80	0.85	—	0.80	0.90	—	0.93	3.30	3.36	—	3.29	3.467	—	4.008
0.69	0.82	0.87	—	0.82	0.92	—	0.95	3.49	3.55	—	3.48	3.636	—	4.222
0.72	0.86	0.92	1.02	0.86	0.96	—	0.99	3.78	3.85	4.04	3.77	3.959	—	4.531
0.74	0.88	0.94	1.04	0.88	0.98	—	1.01	4.02	4.08	4.27	3.99	4.187	—	4.776
0.77	0.91	0.97	1.07	0.91	1.01	—	1.04	4.34	4.41	4.60	4.32	4.520	—	5.725
0.80	0.94	1.00	1.10	0.94	1.04	—	1.07	4.68	4.75	4.95	4.64	4.863	—	5.488
0.83	0.97	1.03	1.13	0.97	1.07	—	1.10	5.02	5.09	5.30	5.00	5.216	—	5.861
0.86	1.00	1.06	1.16	1.00	1.10	—	1.13	5.38	5.46	5.67	5.36	5.569	—	6.249
0.90	1.04	1.10	1.20	1.04	1.14	—	1.17	5.88	5.96	6.19	5.87	6.097	—	6.787
0.93	1.07	1.13	1.23	1.07	1.17	—	1.20	6.27	6.36	6.58	6.26	6.489	—	7.201
0.96	1.10	1.16	1.26	1.10	1.20	—	1.23	6.68	6.76	6.99	6.65	6.902	—	7.630
1.00	1.15	1.23	1.35	1.16	1.29	1.24	1.29	7.27	7.39	7.66	7.25	7.510	7.67	8.224
1.04	1.20	1.27	1.39	1.20	1.33	1.28	1.33	7.83	7.97	8.25	7.83	8.097	8.25	8.337
1.08	1.24	1.31	1.43	1.24	1.37	1.32	1.37	8.44	8.58	8.86	8.43	8.706	8.85	9.474
1.12	1.28	1.35	1.47	1.28	1.41	1.36	1.41	9.06	9.21	9.51	9.06	9.348	9.55	10.132
1.16	1.32	1.39	1.51	1.32	1.45	1.40	1.45	9.71	9.86	10.2	9.71	10.005	10.15	10.815
1.20	1.36	1.43	1.55	1.36	1.49	1.44	1.49	10.40	10.50	10.9	10.41	10.622	10.85	11.516

（续表）

裸线直径（毫米）	绝缘线最大外径（毫米）							绝缘线重量（公斤/千米）						
	QST QSR	QM	QME	M	ME	QQSBC	SBEC	QST QSR	QM	QME	M	ME	QQSBC	SBEC
1.25	1.41	1.48	1.60	1.41	1.54	1.49	1.54	11.30	11.50	11.7	11.2	11.546	11.72	12.428
1.30	1.46	1.53	1.65	1.46	1.59	1.54	1.59	12.20	12.40	12.6	12.2	12.470	12.70	13.373
1.35	1.51	1.58	1.70	1.51	1.64	1.59	1.64	13.10	13.30	13.6	13.1	13.393	13.59	14.354
1.40	1.56	1.63	1.75	1.56	1.69	1.64	1.69	14.00	14.30	14.6	14.1	14.415	14.60	15.376
1.45	1.61	1.68	1.80	1.61	1.74	1.69	1.74	15.00	15.30	15.7	15.1	15.439	15.62	16.419
1.50	1.68	1.73	1.85	1.66	1.79	1.74	1.80	16.20	16.30	16.7	16.1	16.463	16.80	17.505
1.56	1.74	1.79	1.91	1.72	1.85	1.82	1.86	17.50	17.60	18.0	17.4	17.790	18.08	18.855
1.62	1.80	1.85	1.97	1.78	1.91	1.88	1.92	18.80	18.90	19.4	18.7	19.118	19.46	20.254
1.68	1.86	1.92	2.04	1.85	1.98	1.95	1.99	20.20	20.40	20.8	20.1	20.545	20.91	21.797
1.74	1.92	1.98	2.10	1.91	2.04	2.01	2.05	21.70	21.90	22.2	21.6	21.972	22.37	23.289
1.81	1.99	2.05	2.17	1.98	2.11	2.08	2.12	23.40	23.60	24.1	23.4	23.807	24.16	25.116
1.88	2.06	2.12	2.24	2.05	2.18	—	2.19	25.20	25.40	25.9	25.2	25.639	—	27.000
1.95	2.13	2.19	2.31	2.12	2.25	—	2.26	27.10	27.30	27.8	27.0	27.481	—	28.944
2.02	2.20	2.26	2.38	2.19	2.32	—	2.33	29.10	29.40	29.8	29.0	29.505	—	30.925
2.10	2.28	2.34	2.46	2.27	2.40	—	2.41	31.40	31.70	32.2	31.4	31.939	—	33.369
2.26	—	—	—	—	2.62	—	2.62	—	—	—	—	36.956	—	38.913
2.44	—	—	—	—	2.80	—	2.80	—	—	—	—	42.950	—	45.063
2.63	—	—	—	—	2.99	—	2.99	—	—	—	—	49.749	—	52.045
2.83	—	—	—	—	3.19	—	3.19	—	—	—	—	57.452	—	59.942
3.05	—	—	—	—	3.42	—	3.42	—	—	—	—	66.568	—	69.273
3.28	—	—	—	—	3.65	—	3.65	—	—	—	—	76.975	—	79.750
3.53	—	—	—	—	3.90	—	3.90	—	—	—	—	88.915	—	91.977
3.80	—	—	—	—	4.17	—	4.17	—	—	—	—	102.855	—	106.161
4.10	—	—	—	—	4.47	—	4.47	—	—	—	—	119.610	—	123.106
4.50	—	—	—	—	4.88	—	4.88	—	—	—	—	143.820	—	147.672
4.80	—	—	—	—	5.18	—	5.18	—	—	—	—	163.473	—	167.550
5.20	—	—	—	—	5.53	—	5.58	—	—	—	—	191.580	—	196.033

表 4-6　各种电磁圆线绝缘厚度

导线名称		导线直径（毫米）			
		0.51～0.69	0.72～0.96	1.0～1.62	≥1.68
氧化膜铝线		0.02	0.02	0.02	0.02
高强度漆包线（聚酯、缩醛、彩色聚酯、彩色聚胺酯）	薄绝缘	0.03	0.04	0.06	0.07
	厚绝缘	0.05	0.06	0.08	0.09
单玻璃丝漆包线（聚酯、缩醛）		0.20	0.22	0.22	0.24
双玻璃丝包线（硅有机、醇酸等）		0.25	0.25	0.27	0.28
聚酰胺-酰亚胺为基的高强度漆包线		0.03	0.04	0.06	0.07
耐冷冻剂漆包线		0.05	0.06	0.08	0.09

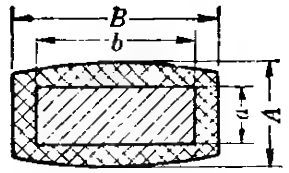


表 4-7　高强度聚酯漆包扁铜线及铝线

扁铜线标称尺寸（毫米）		最大绝缘厚度（毫米）	
a 边尺寸	*b* 边尺寸	*A*-*a*	*B*-*b*
0.2～0.9	2.0～2.83	0.09	0.11
	3.05～4.4		0.12
	4.7～10.0		0.14
1.0～1.16	2.0～2.83	0.10	0.12
	3.05～4.4		0.13
	4.7～10.0		0.15
1.25～1.95	2.0～2.83	0.11	0.12
	3.05～4.4		0.13
	4.7～10.0		0.15
2.10～2.83	2.0～2.83	0.12	0.12
	3.06～4.4		0.13
	4.7～10.0		0.15
扁铝线标称尺寸（毫米）		0.11	0.14
1.16	3.28～4.4	0.12	
1.25～1.95			
2.1	4.7～5.1	0.13	0.16
2.26～2.83		0.14	

表 4-8　双玻璃丝包扁铝线、双玻璃丝包扁铜线和聚酯漆双玻璃丝包线

扁线标称尺寸（毫米）		最大绝缘厚度（毫米）			
		双玻璃丝包		聚酯漆双玻璃丝包	
a 边尺寸	*b* 边尺寸	*A-a*	*B-b*	*A-a*	*B-b*
0.9～1.95	2.1～5.9 6.0～8.0 8.6～14.5	0.35 0.39 0.45	0.27	0.44 0.46 —	0.36 0.36 —
2.1～3.8	2.1～10.0 10.8～14.5	0.41 0.44	0.33	0.50 —	0.42 —
4.1～5.5	4.1～10.0 10.8～14.5	0.48 0.53	0.40	0.57 —	0.49 —

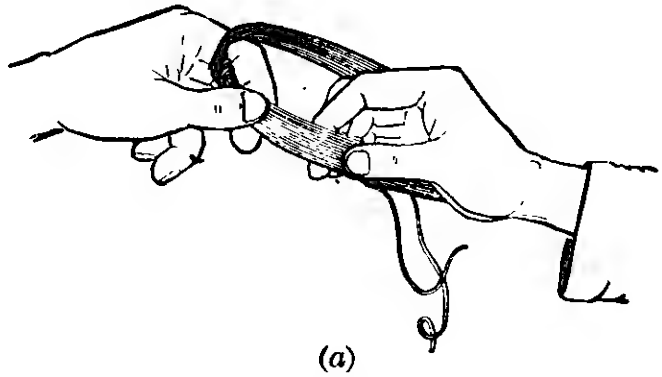
表 4-9　硅有机漆浸渍双玻璃丝包扁铜线

扁铜线标称尺寸(毫米)		最大绝缘厚度（毫米）	
a 边尺寸	*b* 边尺寸	*A-a*	*B-b*
0.9～1.95	2.1～2.83	0.35	0.31
	3.05～4.4		0.32
	4.7～5.9		0.34
	6.4～8.0	0.39	
	8.6～9.3	0.45	
	10.0～14.5		0.36
2.1～3.8	2.1～2.83	0.41	0.37
	3.05～4.4		0.38
	4.7～5.9		0.40
	6.4～8.0		
	8.6～9.3		
	10.0～14.5	0.44	0.42
4.10～5.5	2.1～2.83	0.48	0.44
	3.05～4.4		0.45
	4.7～5.9		0.47
	6.4～8.0		
	8.6～9.3		
	10.0～14.5	0.53	0.49

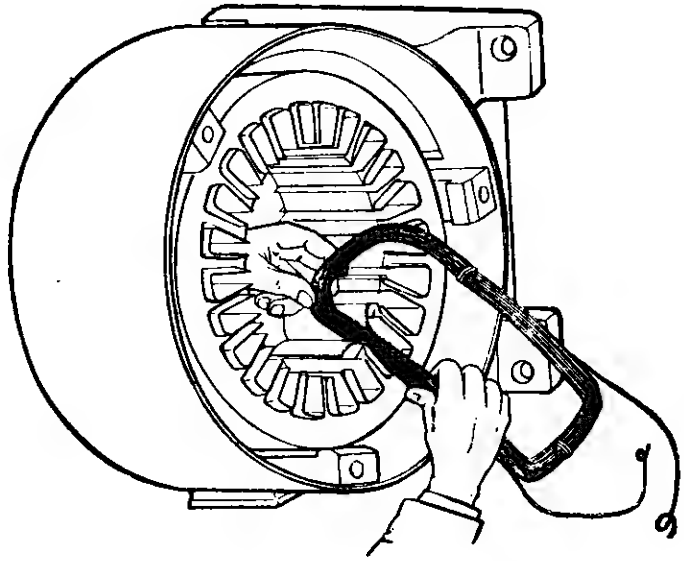
嵌线方法可参阅图 4-28，进槽前先用右手把要嵌的一条线圈边捏扁，捏时还要用左手捏住线圈的一端向相反方向扭转，如图 4-28(a)，使线圈的槽外部分略带扭绞形，否则线圈要松散。线圈边捏扁后放到槽口的槽绝缘中间，左手捏住线圈朝里拉入槽内，如图 4-28(b) 所示。如果槽内不用进槽纸，应在槽口临时衬两张薄膜绝缘纸，以保护导线不致被槽口擦伤绝缘，进槽后薄膜绝缘纸即可取出。一般如果线圈边捏得好，一次即可把大部分导线拉入槽内，剩余少数导线可用划线棒(见图 4-29)划入槽内。在嵌线过程中必须小心谨慎，用力适当，不损伤导线的绝缘；导线进槽应按绕制线圈的顺序，勿使导线交叉，如上所述线圈两端槽外部分略带扭绞形，但槽内部分必须整齐平行，否则不但不易把导线全部嵌入，而且还会造成导线相擦损伤绝缘。嵌线时还要随时注意槽内绝缘是否偏移到一侧，要防止铁心露出与导线相碰，以免造成绕组通地故障。

嵌好一个线圈的一条线圈边后，另一条线圈边暂时还不能落槽，就让它搁在以后要嵌的那个槽(相隔一个节距)上面，线圈边下面要垫一张纸，以免线圈边与铁心相碰而擦伤绝缘。如果是嵌双层绕组，则先落槽的总是下层线圈边，嵌好后就把层间绝缘放进槽内，用压线板(见图 4-30)敲平整，两端伸出槽外应该均等，并压住下层线圈两端伸出部分。

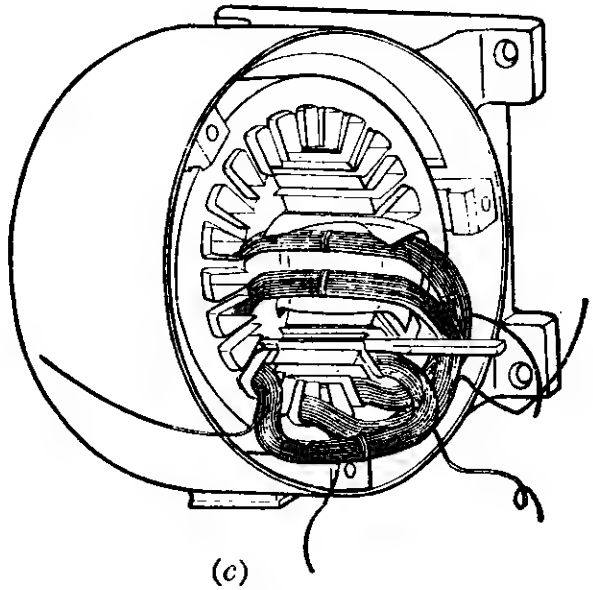
按上述步骤把线圈依次嵌入槽内。顺序是按线圈落槽边的方向逐槽嵌放，暂时不能进槽的上层边亦如上述搁起或吊起；当嵌到距第一只线圈进槽边正好一个节距时，后嵌的这只线圈的上层边正好落在第一只线圈的下层边上，这时就可将这个上层边嵌入槽内，用压线板敲平，剪去露出槽口的进槽纸(不用进槽纸而用盖板纸的就没有这步手续)；然后用划线棒将槽绝缘两边折拢盖住导线，用竹楔压平(见图 4-28(c))，再



(a)



(b)



(c)

图 4-28　嵌　　线

图 4-29　划　线　棒

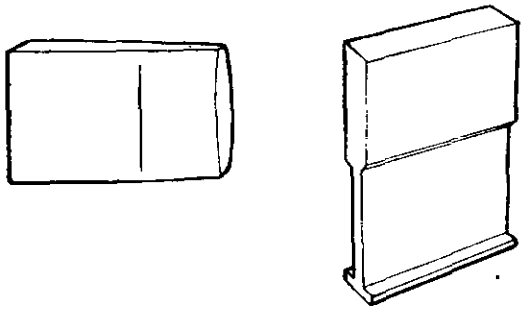


图 4-30　压　线　板

把槽楔打入槽内压紧（参见第一章图 1-6）。全部线圈都嵌完后就可把最初几只未进槽的上层边嵌入槽内。

当一联（一个极相组）内不止一只线圈时，亦如上述先嵌好一联的下层边，再嵌下一联。例如三相四极 36 槽、节距为 7 的定子绕组，共有 12 个极相组，每组有 3 只线圈。嵌线时先把第一组三只线圈的下层边嵌入第 3、2、1 槽内，其上层边应在第 10、9、8 槽内上层，因下层还没有嵌好，所以这三只线圈边暂时搁在铁心上。其次把第二组三只线圈的下层边依次嵌入第 36、35、34 槽，其上层边应落在第 7、6、5 槽，也暂时不嵌。再嵌第三组，下层边落在第 33、32、31 槽内，上层边应在第 4、3、2 槽内，这时第 3、2 槽内已嵌有第一组的下层边，所以第 32、31 槽两只线圈的上层边就可嵌入第 3、2 槽，应嵌第 4 槽的上层边则暂时搁起。其余各组线圈照此依次嵌入。

对于单层绕组，嵌法亦相同，不过单层绕组每个定子槽内只嵌一条线圈边，每嵌好一组（一联）线圈边，应空开一定槽数再嵌第二组。如果每组只有一只线圈，那末每嵌一条线圈边就应空一槽；如果每联有两只线圈，那末每嵌好一联两只线圈

边就应空两槽再嵌第二联两只线圈边，余类推，空出的槽就是预备嵌放另外的线圈边。例如三相四极 24 槽、节距为 5 的单层绕组，共有十二联(极相组)，每联一只线圈，先把一只线圈的一条边嵌入第 1 槽，并打入竹楔，这只线圈的另一边应落在第 6 槽，现暂时搁起不嵌；依次空第 24 槽，将第二只线圈的一条边嵌入第 23 槽，另一条边应落在第 4 槽，现也暂留不嵌；依次空第 22 槽再将第三只线圈边嵌入第 21 槽，它的另一条边按节距可以落入第 2 槽内。图 4-28(c) 就是表示这个例子的嵌法。照这样把全部线圈嵌完。

在嵌线过程中，应随时注意并用划线棒将槽内导线理直，使整齐平行，保持绕制时的线圈形状；各线圈两端的伸出部分应相互平行，这样不仅整齐美观，而且以后整形(做喇叭口)也顺利。

每嵌好一相绕组(一个极相组)，应在线圈端部垫好相间绝缘(三角形绝缘纸)并压住层间绝缘。

以上所讲的嵌线工艺是以链形绕组为例，至于同心式绕组、交叉式绕组等，只是绕组在定子槽中的安排不同，在嵌线工艺上是相同的，可以参照进行。

绕组全部嵌好后，剪去相间绝缘伸出端部的多余部分(应稍留余量)，然后用敲棒(竹棒，如图 4-31 所示)将绕组端部整形：先把绕组外圆敲平直，再把内圆敲成内小口大的喇叭口形(两端伸出部分的表面不能超出定子铁心的表面)，如图 4-32 所示。敲时用力要轻巧均匀；敲成的喇叭口要注意不能碰着端盖。

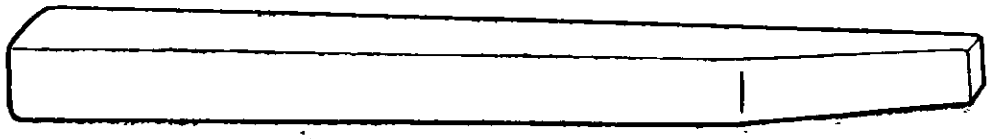


图 4-31　敲　　棒

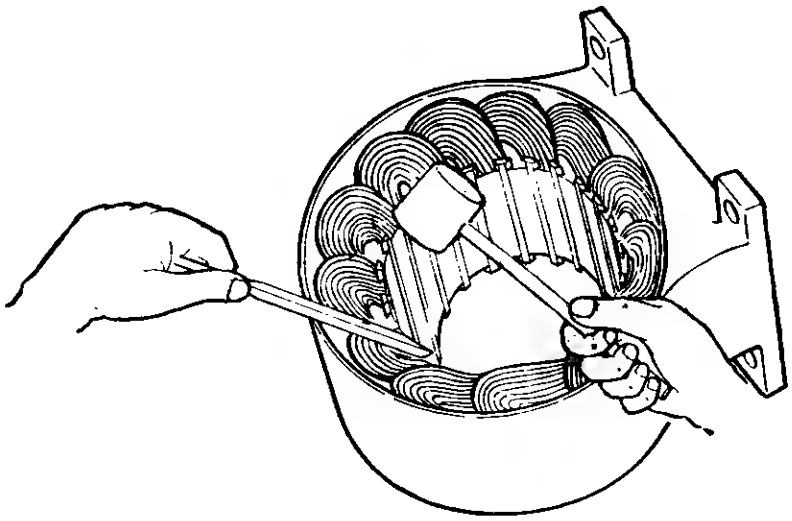


图 4-32　把绕组端部敲成喇叭口

8. 绕组(线圈)的联接

绕组(线圈)全部嵌入定子槽后，就可以按照绕组的设计要求把绕组联结起来。通常，除了只有一只线圈的极相组外，一个极相组内的几只线圈总是连绕的，所以绕组(线圈)的联接也就是把几个极相组联接成相绕组。关于各只线圈之间或各个极相组之间应如何联接，可参阅第二章第五节，这里只讲一讲接头的工艺。

在联接绕组之前，应再按电动机的设计要求仔细核对一遍，以便发现问题及时纠正。联接前，先在线圈(极相组)的线头上套好塑料套管(导线套管和焊头套管)，然后把导线上联接处的绝缘层刮净，用钳子把两联接头扭紧在一起(焊接部分不宜过长)，用松香焊锡焊接起来；也可用接触电焊或气焊(例如铝线绕组就是用气焊)。在焊接处用黄蜡绸包扎好，然后把预先套上的焊头套管推到包扎好的焊接头上。对于几路并联的联接头，无法预先套放焊头套管，可在焊接处包好黄蜡绸之后再在外面包扎黄蜡布。

在联接时要注意各个联接处应错开，勿使两个联接处靠

在一起。

绕组联接好后就要接上引出线并把它接到接线盒中的接线板上。绕组引出线接出处应尽可能靠近接线盒，这样既可缩短引出线，引出又方便。引出线一般采用塑料绝缘软线、蜡克线；有些特殊电动机采用特殊的引出线例如丁基橡胶线等。引出线的规格按电动机的额定电流选择，可参考表 4-10。

表 4-10　电动机绕组引出线的截面

电动机功率（千瓦）	引出线截面（毫米²）	电动机功率（千瓦）	引出线截面（毫米²）
1 以下	1	30～40	16
2.8～4.5	1.5	50～55	25
5～10	2.5	75	35
11～14	4	100	50
15～20	6	125	70
22～28	10		

中小型电动机绕组的引出线常采用两种不同的颜色来区别头尾；如果电动机没有接线板，应在引出线端标明三相的头尾。

9. 浸渍绝缘漆和烘焙

电动机的绕组由导线（漆包、纱包等）、绝缘纤维材料等组成，它们虽然绝缘性能较高，但纤维能吸附水分，外界空气中的水分侵入绕组，将使电动机的绝缘电阻下降。绕组经过浸漆处理，可以达到①提高耐热性能，未经浸漆的纤维质最高耐热至 85℃，经浸漆处理后可达到 105℃；②增强防潮性能；③提高散热能力，起到降低绕组温升的作用；④提高电气性能，提高电动机的耐压和绝缘电阻；⑤浸漆后表面光滑，不易粘附灰尘，并能增加机械强度。所以电动机一般都必须经过浸

漆处理。一般电动机绕组浸渍用的绝缘漆见表 4-11。

表 4-11　绝缘浸渍漆

名称		型号	颜色	主要成分	溶剂	干燥类型
沥青漆		1010*	黑色	石油沥青、干性植物油和松脂酸盐经熬制而成	200 号溶剂油、二甲苯	烘干
		1011*	黑色			烘干
		1210*	黑色			烘干
		1211*	黑色			气干
绝缘浸渍漆	耐油清漆	1012	黄、褐色	甘油、松香脂、干性植物油	200 号溶剂	烘干
	甲酚清漆	1014	黄、褐色	甲酚甲醛树脂、干性油、松香脂	有机溶剂	烘干
	晾干醇酸清漆	1231	黄、褐色	植物油改性、季戊四醇树脂、苯二甲酸酐	200 号溶剂油、二甲苯	气干
	醇酸清漆	1030△	黄、褐色	甘油、苯二甲酸酐、干性植物油、松香脂	甲苯及二甲苯	烘干
	丁基酚醛醇酸漆	1031△	黄、褐色	油改性醇酸树脂漆与丁醇改性酚醛树脂漆复合而成	二甲苯和200号溶剂油	烘干
	三聚氰胺醇酸树脂漆	1032△	黄、褐色	油改性醇酸树脂漆与丁醇改性三聚氰胺树脂漆复合而成	甲苯等	烘干
	环氧脂漆	1033	黄、褐色	亚麻油脂肪酸和环氧树脂经酯化聚合后与部分三聚氰胺树脂漆复合而成	二甲苯和丁醇等	烘干
	气干环氧脂漆	—	黄、褐色	环氧树脂、胺基树脂、干性油	二甲苯	气干
	胺基酚醛醇酸树脂漆	—	黄、褐色	酚醛改性醇酸树脂、胺基树脂	二甲苯及溶剂油	烘干
	无溶剂漆	515-1 515-2	黄、褐色	环氧聚脂和苯乙烯共聚物	—	烘干
	硅有机清漆	1050	淡黄色	硅有机树脂	甲苯	烘干
		1051 1052				烘干 气干
		1053 1250	黄、褐色	改性的聚硅氧烷树脂	甲苯	烘干

注：型号后有“*”符号的属 A 级绝缘，有“△”符号的属 B 级绝缘。

(1) 浸、烘绝缘漆的步骤　电动机的浸漆和烘焙一般须经预烘、浸漆、烘干等三项步骤。

1) 预烘——绕组在浸漆前应先进行预烘，以驱除线圈中的潮气；预烘的温度一般控制在100～110℃，预烘的时间视电动机功率的大小及烘焙设备而定，一般功率在4.5千瓦以下可以预烘4～5小时，4.5千瓦以上可以预烘5～8小时，预烘到电动机绝缘电阻稳定不变即可；

2) 浸漆——经过预烘后，让铁心冷至60～70℃后，用绝缘漆浇灌绕组，必须使绕组各处都浸到绝缘漆，然后把电动机垂直搁置滴干余漆，约半小时后，用松节油将铁心上线圈以外其他部分(铁心、企口)的余漆揩抹干净；

3) 烘干——余漆滴干后的电动机绕组可放入烘房(见下文)烘焙，温度一般维持在100～110℃；烘焙的时间视电动机功率大小而定，一般7千瓦以下电动机烘8～10小时，7～40千瓦约10～18小时，40千瓦以上约20小时；

4) 浸烘的注意事项——绕组的各处（包括两端部）都应浸透绝缘漆；浸漆后的绕组一定要滴干后才可进入烘房，特别采用煤球炉等简易烘干法时，因未滴干的余漆滴入炉中就会燃烧起来。在预烘和烘干的过程中，应随时注意温度与时间，温度过高或时间过久会使绕组绝缘变脆，引出线变形。浸渍漆的规格应选择适当。烘房必须保持空气流通。有的电动机绝缘要求较高，可反复进行数次浸漆与烘干处理(主要根据绝缘等级而定)。

(2) 烘焙方法　电动机绕组经过浸漆后需要烘干；此外，如果电动机长期不使用或安装在潮湿的地方，同样会使绕组受潮，绝缘电阻下降，这样的电动机在使用前也必须进行烘干处理以恢复电动机绕组的绝缘电阻。烘干的方法如下：

1）外热法烘干——通常可用耐火砖或铁板制成一个烘箱，如图 4-33，发热元件放在烘箱的两侧壁，发热元件外用铁板挡住，以防火星落进绝缘漆（发热元件不要放在烘箱下面）。烘箱四壁有隔热的石棉；用水银温度计控制烘箱内温度。箱壁开有通风口用来流通热风。也可在发热元件附近的进风口处用鼓风机把热风吹进去，使绕组均匀加热。

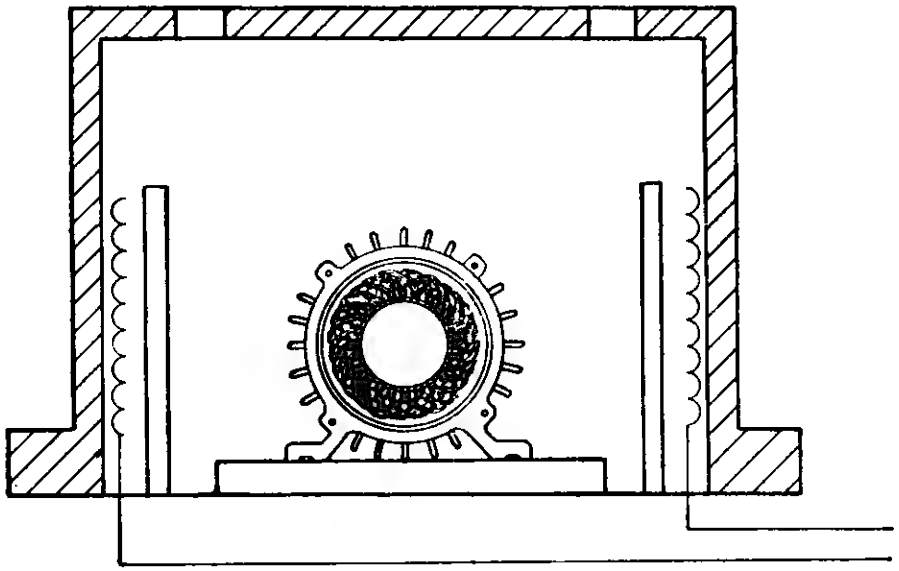


图 4-33　烘　　箱

在没有烘箱时，可将定子垂直搁在铁架上，在铁架下面装发热元件或数个较强的电灯泡（200 瓦）；也可用煤炉；四周用油布覆盖，使热量不易散失。用此种加热方法时应特别注意里面的温度和火种。

2）短路法烘干——如图 4-34 所示，在定子绕组的线圈中（如果是装配好的电动机，应拆开抽出转子）通入单相 220 伏的交流电，电路中加接变阻器、电流表、熔丝等，以便调节电流和作为保护，线圈中流过的电流为电动机额定电流的一半；如果电动机的引出线是六根的，那么可将各相线圈串联起来；如果电动机的引出线是三根，则可任意接两根，过 1 小时再换

一相，使绕组均匀加热。为了控制绕组的温度，可以用水银温度计在电动机的铁心上测量温度，不使绕组超过允许温度，并随时测量电动机的绝缘电阻，符合要求后，就可以停止通电。此种方法不宜用于绕组已浸水、绝缘电阻已等于“0”的电动机，不然会造成电动机绕组的击穿。

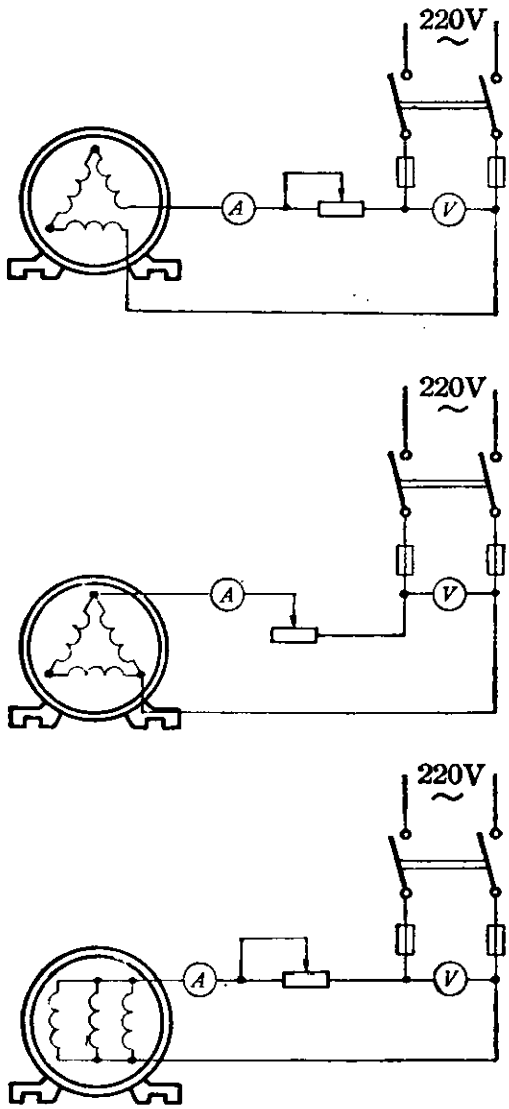


图 4-34　短路烘干法

3）烘焙注意事项——在烘干的过程中，应随时控制烘焙的温度，一般保持在80℃左右，烘焙的时间一般在8～10小时（主要视电动机功率的大小、绝缘电阻高低而定），并随时测量绝缘电阻，达到最低不小于0.5兆欧。有时电动机在烘焙数小时后，绝缘电阻仍不上升，这时就不宜继续烘下去，不然会造成绝缘老化；可待电动机铁心冷却后再继续烘，直至绝缘上升为止。用短路法进行烘焙时应随时测量绕组温度，切勿使其超过电动机的允许温度；烘干后的电动机绕组再浇一层绝缘漆，以防止绝缘回潮。

第五章　三相异步电动机绕组重绕的计算

上章中已介绍了三相异步电动机绕组的修理工艺，是在有关技术数据都能获得的情况下照原来规格修复，因此一般不需作任何计算。但是，有些早年的产品原来设计不大合理，现在重绕时就不宜仍根据原来数据；有些旧电机在长期使用和多次修理后，在电机结构等方面已有了变化，例如气隙增大、铁心的磁性能变劣等，因此原来的技术数据也不能作为可靠依据；再如有些旧电机，绕组已拆去，名牌已丢失，原来技术数据也无从查知；有时，现有电动机的规格性能不适应当前生产需要，例如电压不符，转速不符等。遇到以上这些情况，就需要重新计算绕组。在这方面很多电工同志在工作中积累了丰富的经验，总结出各种简便有效的计算方法。我们在学习这些经验的基础上，结合我们在实际工作中的一些经验，在这一章中介绍三相异步电动机绕组重绕的计算方法。

第一节　绕组重绕计算

重绕计算的最基本问题，就是根据现有的定子铁心决定绕组线圈的匝数和导线截面。根据电动机的原理，绕组线圈匝数取决于工作电压和各部分的磁通密度。在工作电压已定的情况下，绕组线圈匝数主要由各部分磁通密度来决定。由于铁心的结构复杂，各部分的磁力线分布很不均匀，准确计算各部分的磁通密度是很困难的。但根据实际经验知道，电动机的

磁势中约有50～80% 是在空气隙中，因而空气隙的磁通密度(气隙磁密)是最重要的因素。在实际计算时，主要根据气隙磁密来计算绕组数据，从这个主要因素出发，根据实际经验得出一些简便的经验公式。

这一节中介绍四种计算方法。

1. 计算方法一

这一计算方法的要点是首先根据定、转子的几何尺寸估计电动机的极数和容量，再据以计算电动机的磁路，以便确定合理的磁通密度，然后按选定的磁密计算出每极工作磁通，再据以计算出绕组数据。计算步骤如下：

(1) 测量铁心各部分的尺寸　对于定子和转子铁心须测量下列各项尺寸，定子铁心的各部分尺寸如图5-1所示。

D_{i1}——定子铁心内径[厘米]；

D_1——定子铁心外径[厘米]；

L——定子铁心长度(不包括径向通风槽的宽度)[厘米]；

h_c——定子铁心轭厚[厘米]；

b_{t1}——定子铁心齿宽(平均值)[厘米]；

Q_1——定子铁心槽数；

D_2——转子铁心外径[厘米]；

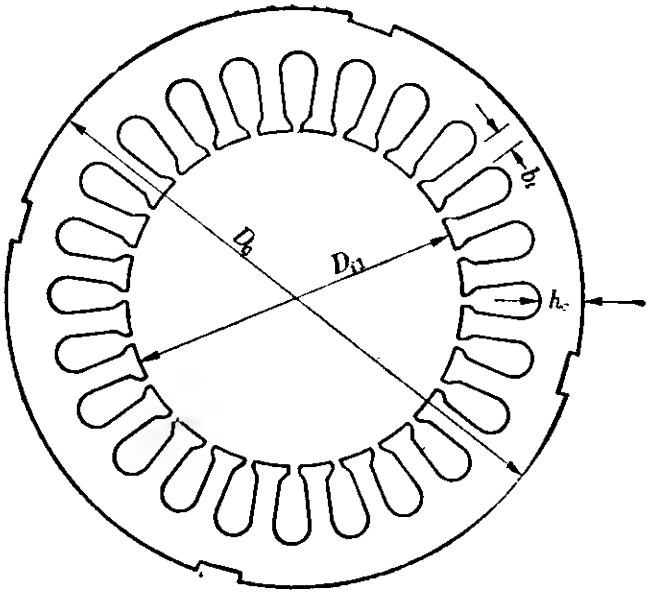
Q_2——转子铁心槽数[厘米]；

g——气隙长度[厘米]。

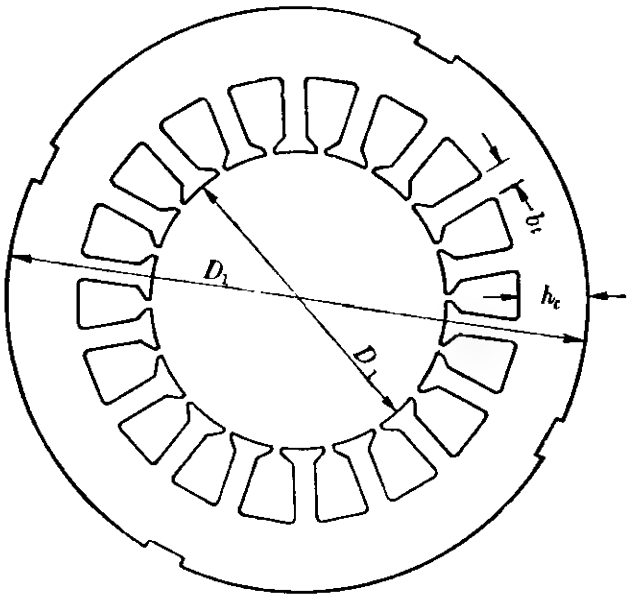
气隙长度 g 可直接测量，也可以由定子铁心内径 D_{i1} 和转子铁心外径 D_2 来求取：

$$g=\frac{D_{i1}-D_2}{2}$$

以上测量所得的尺寸是以后计算时的依据，因此应力求



(*a*)



(*b*)

图 5-1　定子铁心尺寸

(*a*) 圆底槽；　(*b*) 平底槽

准确。尤其是气隙长度较难测量准确，可用塞尺多测几次，然后用游标卡尺测定子铁心内径和转子铁心外径求取，再求平均值。

(2) 估计极数 $2p$　三相异步电动机的定子各部分尺寸的比例与极数有一定关系，因设计电动机时总要按最高利用率来选取定子铁心各部分尺寸，因此可以反过来由定子铁心尺寸估计电动机的极数。

估计极数 $2p$ 的经验公式：

$$2p=(0.35\sim0.4)\times\frac{Q_1\times b_{t1}}{h_c} \qquad (5\text{-}1)$$

因为极数必定是偶数，所以如果算出的不是整数偶数，应取相近的偶数作极数。例如，一台无名牌电动机空壳，测得铁心各部分尺寸为：$Q_1=36$；$b_{t1}=0.6$ 厘米；$h_c=2.4$ 厘米。由式(5-1)求得：

$$2p=(0.35\sim0.4)\times\frac{36\times0.6}{2.4}=3.15\sim3.6$$

相近的偶数为 4，所以这台电动机重绕为四极较合适。

但有时生产厂为减少冲模，两种转速的电动机合用一套冲模，因而极数很可能取中间值。早年生产的电动机这种情况更较多见。此外，对于单绕组多速电动机，为了照顾几种极数时的要求，也可能取中间值为极数。因此，按式(5-1)估算出极数之后，还应在磁路计算过程中加以复核，再进行校正。

有时，按上面公式算得的结果可取两个偶数，这时可根据槽数来选择其中一个偶数为极数，一般槽数较少极数也较少，槽数较多极数也较多。例如，测得一台空壳电动机：$Q_1=54$，$b_{t1}=0.7$ 厘米，$h_c=2$ 厘米，按式(5-1)求得：

$$2p=(0.35\sim0.4)\times\frac{54\times0.7}{2}=6.6\sim7.56$$

可取 $2p=6$ 或 8，根据铁心的槽数，做成六极比较合适。

(3) 估算额定功率 $P_{额}$　额定功率 $P_{额}$ 可按下式估算：

$$P_{额}=\beta D_{i1}^2 L\eta\cos\varphi \quad [千瓦] \qquad (5\text{-}2)$$

式中：β——与电动机的极数和结构有关的系数，对于各种电动机，β 可取如下数值：

两极防护式　$\beta=2.5(107+11.5\,D_{i1})\times10^{-5}$

两极封闭式　$\beta=1.6(107+11.5\,D_{i1})\times10^{-5}$

四极防护式　$\beta=1.4(107+10\,D_{i1})\times10^{-5}$

四极封闭式　$\beta=1.06(107+7\,D_{i1})\times10^{-5}$

六极防护式　$\beta=(107+7\,D_{i1})\times10^{-5}$

六极封闭式　$\beta=0.75(107+7\,D_{i1})\times10^{-5}$

八极防护式　$\beta=70\times10^{-5}$

八极封闭式　$\beta=62\times10^{-5}$

η——电动机的效率；

$\cos\varphi$——电动机的功率因数。效率和功率因数，关于系列产品的可从本书附录或有关手册中查得；对于旧式杂牌电动机，如无数据可查，可按同规格系列产品的数值的 85～95% 计算。

电动机的功率在计算出导线直径后可再加复核，以求得比较准确的结果(参见下文公式(5-12))。

(4) *磁路计算*　磁路计算的任务是合理地选取气隙磁密，从而计算出每极工作磁通。

磁路计算公式：

$$\phi=\alpha_g S_g B_g \tag{5-3}$$

式中：ϕ——每极工作磁通，单位为麦克斯韦(麦)；

α_g——极弧系数，与电动机的极数、磁饱和程度有关，其值可按表 5-1 选择，一般取表中的中间值；

S_g——每极空气隙面积，单位为厘米^2；

B_g——气隙磁密，单位为高斯。

表 5-1　极弧系数 α_g

极　数	2	4	6	8
α_g	0.66～0.67	0.67～0.70	0.69～0.72	0.70～0.73

每极空气隙面积 S_g 可按下式计算：

$$S_g=\frac{\pi D_{i1}}{2p}L\cdot K$$

式中：K——铁心的压装系数。K值要按硅钢片的绝缘情况来选取：对于涂漆绝缘，可取 0.92；对于氧化膜绝缘，可取 0.95。旧电动机的硅钢片绝缘情况一般不易分清，K 值可按迭压的松紧情况来选取：没有松动的铁心可取 0.93；如已松动，必须重新压紧，相应地 K 值要取比较低的值。

气隙磁密 B_g 不仅取决于构成铁心的硅钢片质量，而且与电动机的极数、散热情况、铁心的几何尺寸有关。如果单纯根据硅钢片的质量情况来选取 B_g 值，虽然可以充分利用铁心，因而每极绕组匝数可以少些，可以节省铜材。但是气隙磁密超出一定限度后，相应地定子铁心轭部和齿部的磁密也可能超出限度，这样铁耗增加，铁心发热，从而电动机的温升高，使电动机的寿命缩短，严重的甚至烧坏绕组。因此，合理地选取气隙磁密是重绕计算的关键。选取 B_g 值时，首先在充分考虑各方面的因素情况下，初步估选出 B_g 值，算出每极工作磁通，然后以此工作磁通推算轭部和齿部磁密，看它是否超出允许的限度，如果超出了，则说明估选的 B_g 值太大，需要减小。

初步估选气隙磁密 B_g 可按表 5-2 所列选择，选取时应考虑下列一些因素。

表 5-2　气隙磁密 B_g 的估选值　　(高斯)

型　　式	极数			
	2	4	6	8
	B_g			
封　闭　式	5000～6000	5500～7500	6000～7500	6000～7500
防护式、开启式	5800～7000	6300～8000	7000～8000	7000～8000

1）散热条件——开启式、防护式电动机的散热条件比封闭式好，所以 B_g 值可以取得大些，封闭式取得小些；

2）电动机的极数——极数少的电动机，B_g 值应取得低一些，特别是两极电动机，一般 B_g 值都比较低；

3）电动机的功率——同型号、同极数的电动机，额定功率较大的，B_g 值取得较高；

4）硅钢片性能——硅钢片的导磁性能好，相应地 B_g 值也高。一般来说，含硅量较高的硅钢片质量较好。旧电动机的硅钢片型号很难知道，因而只能约略地判断它的质量好坏。判断时，可取一片定子铁心，将齿部弯曲几次，容易折断的说明硅钢片的质量较好，不易折断的质量较差。由断面的颜色也能判别硅钢片的质量，断面呈灰白色的硅钢片质量好，灰黑色的质量差。但对旧电动机而言，即使硅钢片的质量较好，B_g 值也不能取得过高。因为经过数次修理，铁心都有不同程度的损坏；长期使用后铁心的磁性能也可能退化。

一般来说，对于国产系列电动机，B_g 可选取表 5-2 中的中间值或稍高值；对于以前生产的旧电动机和早年进口的电动机，可选取中间值或较低的值。

选取 B_g 时还应考虑到气隙长度。空气的磁阻很大，导磁率低，所以气隙应做得尽量小，但受机械加工及电机的机械性

能的限制，不能做得极小，表 5-3 所列为 J、JO 型电动机的正常气隙长度。气隙的大小对电动机的性能影响很大，因此在选取 B_g 时必须考虑气隙是否增大。例如有的电动机因使用不当，轴承过度磨损造成定子铁心与转子相擦，以致定、转子铁心变形；失圆的铁心修理时经过车削修正，气隙必然增大。遇到这类情况，就必须减低气隙磁通密度，否则电动机修复后空载电流一定很大，性能差，温升很高，输出功率下降，如不减轻负载，电动机的负载电流就会超过额定值，造成电机过热而烧坏。

表 5-3　J、JO 型电动机的正常气隙长度

转速（转/分）	容量（千瓦）							
	0.2以下	0.2～1	1～2.2	2.2～4.5	4.5～10	10～20	20～40	40～100
	g（毫米）							
3000	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5	0.65	0.8	1.0
1500～500	0.2	0.25	0.30	0.35	0.4	0.45	0.5	0.65

B_g 减低后必须增加每槽的导线根数，槽内就可能容纳不下。在这种情况下可以选用质量较好的槽绝缘（如薄膜青壳纸），这样槽绝缘就可用得薄一些，以增加槽的有效面积。如槽内仍容纳不了所有导线（可通过计算槽满率而知槽内导线的紧松程度），就只得减小导线的截面积（尽可能少减小）。导线截面积减小后电动机的功率也相应减小。这种电动机修复后性能就降低。如果气隙增大较多，这台电动机就失去修理利用价值。

气隙长度增大必须减小气隙磁通密度，二者的关系很难

用简单的公式来表示，只能在计算时先根据经验适当降低 B_g 的值进行计算，最后按计算结果核算空载电流是否在规定的范围内。如空载电流仍大，应再减低 B_g 值重新计算；如空载电流偏小，则可适当增加 B_g 值进行校正。

气隙磁通密度的选择，必须根据上述几方面的情况综合考虑，特别是硅钢片的质量与气隙长度尤为重要。气隙磁通密度选定后，便可计算出每极工作磁通 ϕ。

在一般的情况下，铁心各部分的磁通密度是比较平衡的，但有时也可能出现不平衡（如单相电动机改为三相电动机，三相电动机改极等），为慎重起见，必须核算定子铁心的铁轭磁通密度和齿磁通密度。

定子轭磁通密度 B_{c1} 可按下式计算：

$$B_{c1}=\frac{\phi}{2h_{c1}LK} \tag{5-4}$$

表 5-4　定子轭磁通密度 B_{c1}　（高斯）

型　式	极　数			
	2	4	6	8
	B_{c1}			
封闭式	12500～14000	13000～14000	12000～13500	11000～12500
防护式（开启式）	13500～16000	13500～16000	13000～15000	12000～14000

以初算的工作磁通 ϕ 的值代入上式，计算出的 B_{c1} 的值必须符合表 5-4 的范围，否则必须重取 B_g 再算，至符合为止。

如果 B_{c1} 的值与表 5-4 的范围相差很大，则可能极数取得不正确：如 B_{c1} 的值超过表中的最大值，应增加极数再算，反之则减少极数。单相改三相的电动机和改极的电动机（低

速改高速），其轭磁通密度一般都比较紧张。B_{c1} 的值可稍高于表中的最大值，最高不能超过 16000 高斯。早年生产的电动机，其 B_{c1} 的值一般较低，在 12000 高斯至 13000 高斯之间。

定子齿磁通密度 B_{t1} 可按下式计算：

$$B_{t1}=\frac{\phi}{\alpha_g\frac{Q_1}{2p}b_{t1}LK}\quad (5\text{-}5)$$

表 5-5　定子齿磁通密度 B_{t1}　　(高斯)

型　式	极　数　$2p$			
	2	4	6	8
	B_{t1}			
封闭式	13500～15000	14000～15500	14000～15200	13500～15000
防护式（开启式）	15000～16000	14200～16200	15000～16200	14500～16000

以工作磁通 ϕ 的值代入上式，计算出的 B_{t1} 的值应符合于表 5-5 的范围，否则必须重取 B_g 的值。如果是改极的电动机，B_{t1} 可稍高于表 5-5 的范围，但不宜超出 17000 高斯。早年生产的电动机其 B_{t1} 的值较低，在 13000 高斯至 15000 高斯左右。

一般情况下电动机铁心尺寸有合适的比例，气隙、轭部和齿部的磁密是比较平衡的，不会出现某一部分很紧张、某一部分过宽的现象。如出现了不平衡现象，而所有各部分的磁通密度又都不能超过规定的范围，则势必有某一部分的磁通密度就会过低，那就让它低一些，否则电动机的温升就会很高，总之以各部分的磁通密度都不超过最大允许值为原则。

(5) 绕组数据计算　计算每相串联导体数 $Z_{\phi 1}$ 和每槽导

体数 Z_1：

$$Z_{\phi 1}=\frac{U_1\times 10^8}{2.22 f K_{dp}\phi} \tag{5-6}$$

$$Z_1=\frac{3\times Z_{\phi 1} a}{Q_1} \tag{5-7}$$

式中：U_1——相电压，当电机接成Y形时，$U_1=\frac{1}{\sqrt{3}}\times$线电压；当电机接成△形时，$U_1$=线电压；

f——频率(50赫兹)；

a——并联支路数；

K_{dp}——绕组系数$=K_d$(分布系数)$\times K_p$(短距系数)。

把式(5-6)代入式(5-7)，并以$f=50$代入，得：

$$Z_1=\frac{2.7\times a\times U_1\times 10^6}{\phi\times K_{dp}\times Q_1} \tag{5-8}$$

绕组系数K_{dp}的值可先查表5-6和表5-7得出K_d和K_p后再相乘求得。例如一台三相四极电动机，定子为36槽，求定子绕组（60°相带）的分布系数K_d，先求出每极每相槽数$q=\frac{36}{12}=3$，查表5-6得$K_d=0.96$；亦可按表5-6中的公式求出。如果已知每极槽数Q_p和节距y，就可从表5-7查得K_p。

表5-6　三相绕组的分布系数 K_d

$$K_d=\frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\cdot q\right)}{q\cdot\sin\frac{\alpha}{2}},\qquad \alpha=\frac{2p\pi}{Q_1}$$

q	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11及以上
三相60°相带	0.966	0.96	0.958	0.957	0.956	0.956	0.956	0.955	0.955	0.955
三相120°相带	0.866	0.844	0.837	0.833	0.831	0.830	0.829	0.829	0.829	0.828

表 5-7　绕组的短距系数 K_p

$$K_p=\sin(\beta\times 90°),\quad \beta=\frac{y}{Q_p},\quad Q_p=\frac{Q_1}{2p}$$

节距	每　极　槽　数　Q_p												
y	24	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
1—25	1.0												
1—24	0.998												
1—23	0.991												
1—22	0.981												
1—21	0.966												
1—20	0.947												
1—19	0.924	1.0											
1—18	0.897	0.996											
1—17	0.866	0.985	1.0										
1—16	0.832	0.966	0.995	1.0									
1—15	0.793	0.940	0.981	0.995	1.0								
1—14	0.752	0.906	0.956	0.978	0.994	1.0							
1—13	0.707	0.866	0.924	0.951	0.975	0.993	1.0						
1—12		0.819	0.882	0.914	0.944	0.971	0.991	1.0					
1—11		0.766	0.831	0.866	0.901	0.935	0.966	0.990	1.0				
1—10		0.707	0.773	0.809	0.847	0.884	0.924	0.960	0.988	1.0			
1—9			0.707	0.743	0.782	0.833	0.866	0.910	0.951	0.985	1.0		
1—8				0.669	0.707	0.749	0.793	0.841	0.891	0.940	0.981	1.0	
1—7						0.663	0.707	0.756	0.809	0.866	0.924	0.975	1.0
1—6								0.655	0.707	0.766	0.832	0.901	0.966
1—5										0.643	0.707	0.782	0.866
1—4												0.624	0.707

计算出每槽导体数 Z_1 后，就可计算导线直径。先求出槽面积 S_s 和槽绝缘所占面积 S_i（参看图 5-2）：

$$\left.\begin{aligned} S_s &= \frac{2R+b'_s}{2}(h'_s-h)+\frac{\pi R^2}{2} \quad \text{（对于圆底槽）} \\ S_s &= \frac{b_s+b'_s}{2}(h'_s-h) \quad \text{（对于平底槽）} \end{aligned}\right\} \tag{5-9}$$

式中：h——槽楔厚度，按实际计算。

$$\left.\begin{aligned} S_i &= C_i(2h'_s+\pi R) && \text{（圆底槽，单层绕组）} \\ S_i &= C_i(2h'_s+\pi R+2R+b'_s) && \text{（同上，双层绕组）} \\ S_i &= C_i(2h'_s+b_s) && \text{（平底槽，单层绕组）} \\ S_i &= C_i(2h'_s+2b_s+b'_s) && \text{（同上，双层绕组）} \end{aligned}\right\} \tag{5-10}$$

式中：C_i——槽绝缘的厚度，按实际计算。

导线（连绝缘）直径 d' 和裸线直径 d 可按下式计算：

$$d'=\sqrt{\frac{(S_s-S_i)K_s}{Z_1 b}} \tag{5-11}$$

$$d=d'-2\times\text{导线绝缘层厚度}$$

式中：b——并绕根数；

K_s——槽满率，一般可取 0.8 左右；各种圆电磁线绝缘层厚度可由表 5-8 查得。

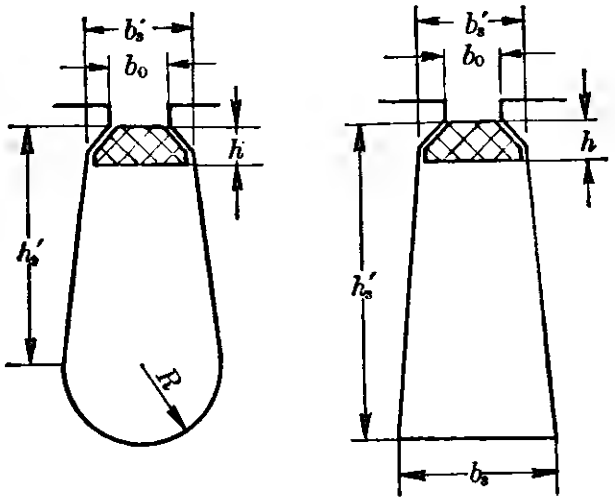


图 5-2　槽形尺寸

表 5-8　各种圆电磁线绝缘厚度　　(毫米)

导线名称	导线直径			
	0.51～0.69	0.72～0.96	1.0～1.62	≥1.68
	绝缘厚度			
氧化膜铝线	0.02	0.02	0.02	0.02
高强度漆包线 薄绝缘/厚绝缘	0.03/0.05	0.04/0.06	0.06/0.08	0.07/0.09
单玻璃丝漆包线	0.20	0.22	0.22	0.24
双玻璃丝漆包线	0.25	0.25	0.27	0.28
聚酰胺-酰亚胺为基的高强度漆包线	0.03	0.04	0.06	0.07
耐冷冻漆包线	0.05	0.06	0.08	0.09

求出导线直径后，可以比较准确地计算电动机的输出功率：

$$P_{额}=3U_{相}I_s\cos\varphi\eta\times10^{-3}$$
$$=\sqrt{3}\times U_{线}I_s\cos\varphi\eta\times10^{-3}\ [千瓦]\quad(5\text{-}12)$$

式中：$I_s=\frac{\pi}{4}(d)^2\Delta$——工作电流，$\Delta$ 为电流密度，对于封闭式电动机可取 $\Delta=4\sim5$ 安/毫米^2，对于防护式电动机可取 $\Delta=5\sim6$ 安/毫米^2。

对于老式电动机，如按式(5-11)计算线规，则槽满率必须取得很低，否则计算出来的导线直径往往偏大，可改按下述方法计算较为方便。先根据式(5-2)计算出来的功率，按式(5-12)求出工作电流 I_s；

$$I_s=\frac{P_{额}}{3U_{相}\cos\varphi\eta\times10^{-3}}$$

然后按下式求出 d：

$$d_{裸线}=1.13\times\sqrt{\frac{I_s}{\Delta\times b\times a}} \tag{5-13}$$

(6) 绕线模尺寸的计算　根据不同的绕组形式，常用的绕线模形状有四种：梭形(适用于双层迭绕组)，长圆形(适用于链形绕组)，同心形(适用于同心绕组)和叉形(适用于交叉式绕组)。

模芯尺寸如图 5-3 所示，可按下列公式计算：

$$\tau_y=\frac{\pi(D_{i1}+槽深)}{Q_1}\times y \tag{5-14}$$

$$L_B=L+2\times(1\sim3)厘米$$

式中 1～3 厘米为线圈伸出槽外部分的长度，视电动机的功率大小、机壳形状和极数而异，通常极数少、功率大的电动机，伸出槽外部分就长些，反之则短些。模芯厚 8～15 厘米，根据功率而定。

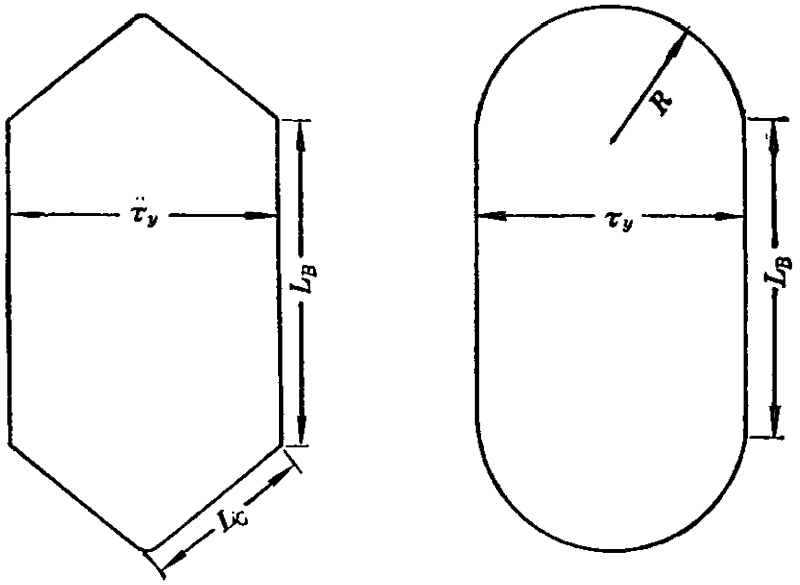


图 5-3　绕线模尺寸

$$L_C=(0.64\sim0.7)\tau_y \tag{5-15}$$

$$R=(0.5\sim0.6)\tau_y \tag{5-16}$$

系数(0.64～0.7)和(0.5～0.6)是经验数据，如电机的形状特殊，要根据具体情况而定，有的电动机端盖很浅，线圈的端接部分宜做得短些，否则要碰端盖，造成绝缘破坏。线模尺寸确定后就可做绕线模(参考第四章)。

(7) 核算空载磁化电流　气隙长度 g 对电动机的性能影响很大，气隙长度增加，空载磁化电流也随之增加；当电动机的气隙超过正常允许范围时，空载电流也将会超过允许的范围。为了减小空载电流，提高电动机的性能，在一般情况下是采取减小气隙磁通密度 B_g 的办法。但气隙长度的增加与空载电流的增加并不存在简单的比例关系，所以 B_g 之值较难掌握。为了检查以上计算是否正确，对于气隙超过正常范围的电动机进行重绕计算时，先根据经验适当减小 B_g 之值进行计算，计算出绕组数据后，再行核算空载电流，并与表 5-9 作比较，如出入较大，则必须重新选取 B_g 值再进行计算，直至核算得的空载电流符合于表 5-9 的范围。

计算空载磁化电流时，先要计算出定子、转子磁路各部分所需的安匝数，气隙安匝：

$$AT_g=0.8\,B_gK_cg[\text{安匝}] \tag{5-17}$$

式中：K_c——气隙系数，为定子、转子气隙系数的相乘积，因转子气隙系数非常接近于 1，所以在计算中就可取为 1，而只计算定子气隙系数：

$$K_{c1}=\frac{t(4.4g+0.75b_0)}{t(4.4g+0.75b_0)-b_0^2}\quad\text{(对于半开口槽定子)}$$

$$K_{c1}=\frac{t(5g+b_0)}{t(5g+b_0)-b_0^2}\quad\text{(对于开口槽定子)}$$

t——齿距$=\dfrac{\pi D_{i1}}{Q_1}$ [厘米]；

b_0——槽口宽[厘米]；

定子齿安匝：

$$AT_{t1}=a_{t1}h'_{t1}\ \text{[安匝]} \tag{5-18}$$

式中：a_{t1}——定子齿部的磁场强度[安/厘米]，根据磁路计算中 B_{t1} 之值查附录九磁化曲线求得；

h'_{t1}——定子槽计算高度，对于平底槽，$h'_{t1}=h'_{s1}$（参阅图5-2），对于圆底槽，$h'_{t1}=h'_{s1}+\dfrac{1}{3}R_o$。

定子轭部安匝：

$$AT_{c1}=C_1a_{c1}L'_{c1}\ \text{[安匝]} \tag{5-19}$$

式中：C_1——轭部磁路长度校正系数，根据极数和磁路计算中 B_{c1} 之值查图5-4～图5-6曲线求得；

a_{c1}——定子轭部的磁场强度[安/厘米]，根据 B_c 值查附录九磁化曲线求得；

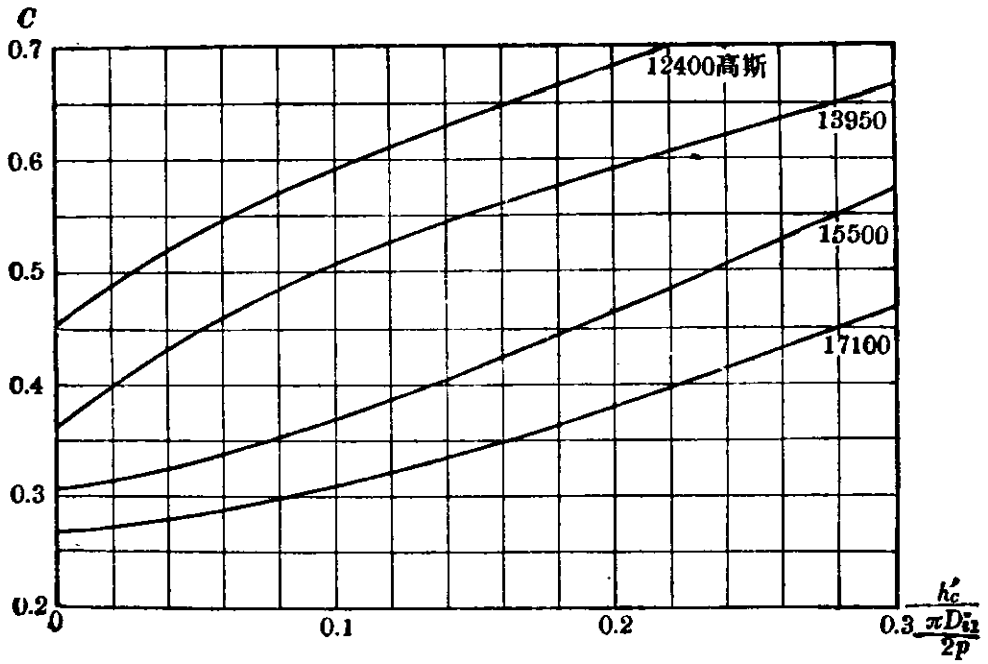


图5-4　轭部磁路长度校正系数 C（两极）

L'_{c1}——定子轭部磁路计算长度，对于平底槽，

$$L'_{c1}=\frac{\pi(D_1-h'_c)}{2p};$$

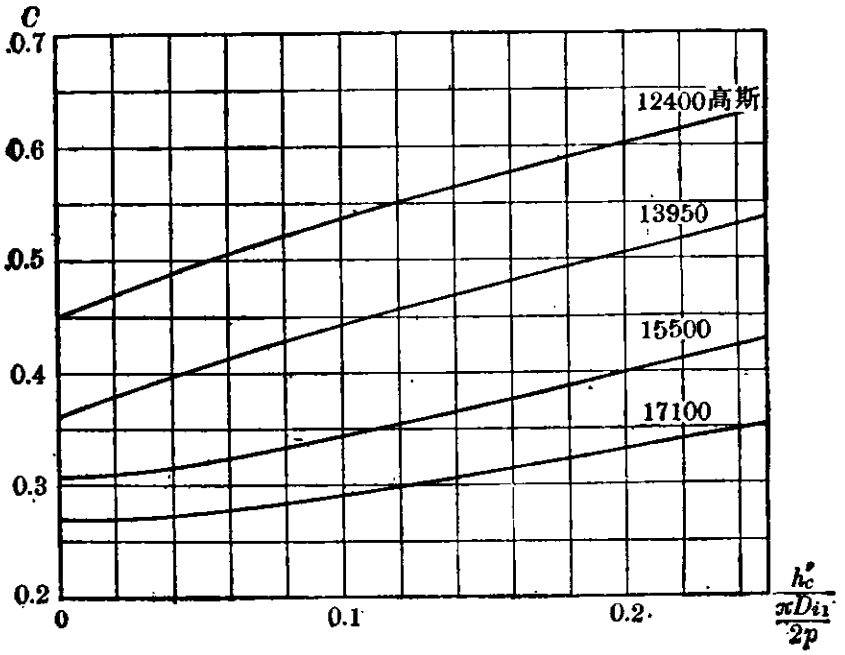


图 5–5　轭部磁路长度校正系数 C（四极）

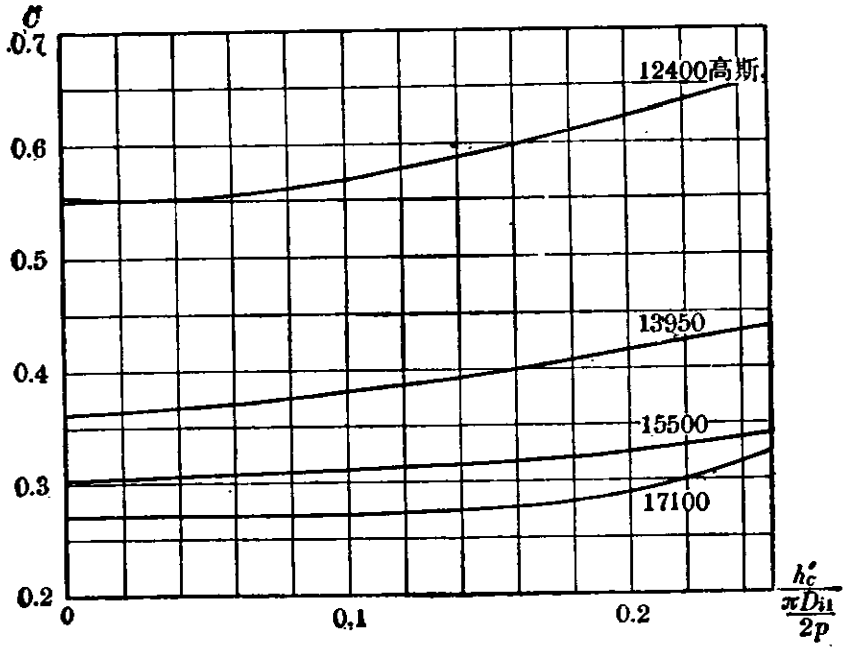


图 5–6　轭部磁路长度校正系数 C（六极及六极以上）

对于圆底槽，$L'_{c1}=\dfrac{\pi\left[D_1-\left(h'_c+\dfrac{1}{3}R\right)\right]}{2p}$。

转子齿部安匝和转子轭部安匝在鼠笼转子完好的情况下很难求得，可按如下方法求得每极的总安匝数：

每极的总安匝 $AT=AT_g+AT_{t1}+AT_{c1}+AT_{t2}+AT_{c2}$

式中 AT_{t2} 和 AT_{c2} 分别为转子齿和转子轭部的安匝数，此式可写成：

$$AT=(AT_{t1}+AT_{c1})\times\frac{AT_{t1}+AT_{c1}+AT_{t2}+AT_{c2}}{AT_{t1}+AT_{c1}}$$

式中 $\dfrac{AT_{t1}+AT_{c1}+AT_{t2}+AT_{c2}}{AT_{t1}+AT_{c1}}=F$ 称为齿饱和系数，对于中小型电动机，F 值变化范围不大，根据 J、JO 型电动机的统计，数值范围如表 5-10 所列，对于功率较大者可取表中较大值，功率较小则取较小值。这样，总安匝数就可按下式计算：

$$AT=AT_g+(AT_{t1}+AT_{c1})F\ \text{[安匝]}\qquad(5\text{-}20)$$

算出总安匝之后，就可按下式计算空载磁化电流 I_{m0}：

$$I_{m0}=\frac{2.22AT\times 2p}{mK_{dp}Z_\phi}\ \text{[安]}\qquad(5\text{-}21)$$

计算出的数值应符合表5-9的范围，如不合应重取B_g再行计算。

表 5-9　空载电流占额定电流的百分数

极数	容量					
	0.125千瓦以下	0.5 千瓦以下	2 千瓦以下	10 千瓦以下	50 千瓦以下	100 千瓦以下
	$I_{m0}/I_s(\%)$					
2	70～90	45～70	40～55	30～45	20～30	18～25
4	75～90	60～80	45～60	35～50	25～35	20～30
6	80～95	65～85	50～65	35～60	25～40	20～30
8	85～95	70～85	50～65	35～65	30～45	25～35

表 5-10　齿饱和系数 F

极数 $2p$	2	4	6	8
F	1.20～1.30	1.40～1.65	1.40～1.75	1.55～1.75

【例】 有一台无名牌的电动机空壳，试计算定子绕组数据。这台电动机为防护式，测得铁心各部分的尺寸如下：定子 $D_1=20.2$ 厘米；$D_{i1}=12$ 厘米；$L=10.4$ 厘米；$h_c=1.8$ 厘米；$b_{t1}=0.5$ 厘米；$Q_1=36$ 槽；槽深 $=2.3$ 厘米；b_0（槽口宽）$=0.3$ 厘米；槽形见图 5-7。转子外径 $D_2=11.92$ 厘米；$g=\dfrac{12-11.92}{2}=0.04$ 厘米。

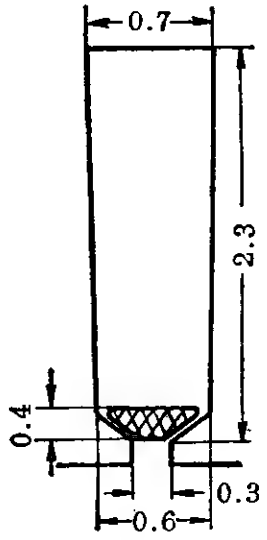


图 5-7　计算例题中的定子槽形

计算极数：按式(5-1)：

$$2p=(0.35\sim0.4)\times\frac{36\times0.5}{1.8}=3.5\sim4$$

取 $2p=4$，这台空壳做成四极电动机较为合适。

估计功率：根据定子铁心主要尺寸按式(5-2)初算功率 $P_{额}$：

$$P_{额}=1.4(107+10\times12)\times(12)^2\times10.4\times10^{-5}$$
$$\times0.85\times0.83=3.2\ [千瓦]$$

这台空壳电动机是老式的，所以输出功率要打一个折扣：

$$P_{额}=3.2\times0.85\approx2.8\ [千瓦]$$

按式(5-3)计算每极工作磁通 ϕ：取 $\alpha_g=0.68$；

$$S_g=\frac{\pi D_{i1}LK}{2p}=\frac{3.14\times12\times10.4\times0.93}{4}$$
$$=91.11\ [厘米^2]$$

由于这台电动机是早年生产的，所以取 $B_g=6000$ 高斯；于是可计算得每极工作磁通

$$\phi=0.68\times91.11\times6000=371728.8[\text{马}]\approx372000[\text{马}]$$

验算轭磁通密度：按式(5-4)求得

$$B_{c1}=\frac{372000}{2\times1.8\times10.4\times0.93}=10689\approx10700[\text{高斯}]$$

验算齿磁通密度：按式(5-5)求得

$$B_{t1}=\frac{372000}{0.68\times\frac{36}{4}\times0.5\times10.4\times0.93}\approx12300\ [\text{高斯}]$$

轭及齿的磁通密度都偏低，可适当增加 B_g 的值，取 $B_g=7000$ 高斯，则

$$\phi=0.68\times91.11\times7000\approx433000\ [\text{马}]$$

$$B_{c1}=\frac{433000}{2\times1.8\times10.4\times0.93}\approx12300\ [\text{高斯}]$$

$$B_{t1}=\frac{433000}{0.68\times\frac{36}{4}\times0.5\times10.4\times0.93}\approx14600[\text{高斯}]$$

B_{c1} 值略低于表 5-4 中的最小值，B_{t1} 值亦接近表 5-5 中的最小值，考虑到这台电动机是早年生产的，且铁心质量较差，不能再增加 B_g 的值，确定每极工作磁通 $\phi=433000$ [马]。

计算绕组数据：采用一路丫形联接，所以 $U_{相}=220$ 伏，$a=1$；$q=\frac{36}{3\times4}=3$；$K_d=0.96$；$y=\frac{36}{4}\times0.8\approx7$；绕组形式为短节距双层迭绕组，$K_p=0.94$；线圈节距为 1—8。

按式(5-6)求得每相串联导体数

$$Z_{\phi1}=\frac{220\times10^8}{2.22\times50\times0.96\times0.94\times433000}\approx510$$

按式(5-7)求得每槽导体数

$$Z_1=\frac{3\times 510}{36}\approx 42 \qquad (\text{取 } Z_1=42 \text{ 根})$$

计算导线规格：按式(5-9)和式(5-10)，

槽面积$S_s=\frac{b_s+b'_s}{2}(h'_s-h)=\frac{0.7+0.6}{2}(2.2-0.4)$

$=1.17$ [厘米^2]

槽绝缘所占的面积 $S_i=C_i(2h'_s+2b_s+b_{s1})$

$=0.06(2\times 2.2+2\times 0.7+0.6)$

$=0.384$ [厘米^2]

槽绝缘用 0.02 厘米厚的薄膜复合青壳纸一层加 0.02 厘米厚的黄蜡布一层，青壳纸在槽口处折转，槽绝缘总厚为 0.06 厘米。

按式(5-11)求得导线直径

$$d'=\sqrt{\frac{(S_s-S_i)\times K_s}{Z_1\times b}}=\sqrt{\frac{(1.17-0.384)\times 0.8}{42}}$$

≈ 0.122 [厘米] $=1.22$ [毫米]

$d=1.22-0.04=1.18$ [毫米]

选用直径为 1.16 毫米的高强度漆包线。

按式(5-12)计算输出功率：

$$P_{额}=3U_{相}I_s\cos\varphi\eta=3\times 220\times\frac{\pi(1.18)^2}{4}\times 5.5\times 0.85$$

$\times 0.83\approx 2.8$ [千瓦]

与估计功率较为接近。

计算绕线模尺寸：绕组为双层迭绕，节距 1—8，$q=3$，所以三只线圈绕成一联；模芯的形状为梭形，按式(5-15)、(5-16)求得尺寸如下：

$$\tau_y=\frac{\pi(12+2.3)}{36}\times 7=8.8\ [\text{厘米}]$$

$$L_B=10.4+2\times(1.2)=12.8\ [\text{厘米}]$$

$$L_C=0.65\times 8.8=5.7\ [\text{厘米}]$$

计算好以后应先用铜线按尺寸做一只线圈(几匝就可)试嵌一下，长短是否合适，两端是否会碰端盖，适合了再正式绕线。

计算空载电流：先按式(5-17)～式(5-19)计算出各部计算总安匝数：因 $t=1.04$，则

$$K_c=\frac{t\,(4.44\times 0.04+0.75\times 0.3)}{t(4.44\times 0.04+0.75\times 0.3)-(0.3)^2}=1.27$$

故 $AT_g=0.8\,B_gK_cg=0.8\times 7000\times 1.27\times 0.04=284.5$

$AT_{t1}=a_{t1}\times h'_{t1}=23\times 2.2=50.6$

$AT_{c1}=c_1\times a_{c1}\times L'_{c1}=0.6\times 9.61\times 7.2=41.5$

按式(5-20)，取 $F=1.5$，得总安匝数

$$AT=AT_g+F(AT_{t1}+AT_{c1})=284.5+1.5(50.6+41.5)$$
$$=422.65$$

按式(5-21)求得空载电流

$$I_{m0}=\frac{2.22AT\times 2p}{mK_{dp}Z_{\phi 1}}=\frac{2.22\times 422.65\times 4}{3\times 0.96\times 0.94\times 510}\approx 2.7\ [\text{安}]$$

约占额定电流的 45%，符合于表 5-9 的范围。

2. 计算方法二

用“计算方法一”计算虽比较准确，但计算手续比较繁复。实际上对于小功率电动机在重换绕组计算时，有些系数可按一般情况确定，不必作详细计算，因每槽匝数较多，简化计算的结果误差也不大，对电动机的性能影响极小。因此，对 10 千瓦以下的小功率电动机，按经验公式(5-1)确定极数后，轭与齿的磁通密度可不进行核算，可径按下列简化公式计算：①按

公式(5-1)计算极数 $2p$；②选取 B_g 的值；③计算每槽匝数：

$$\left.\begin{aligned} Z_1&=\frac{3.3\times 2p\times 10^8}{D_{i1}LB_gQ_1} \quad (380\text{伏丫形联接})\\ Z_1&=\frac{5.7\times 2p\times 10^8}{D_{i1}LB_gQ_1} \quad (380\text{伏}\triangle\text{形联接}) \end{aligned}\right\} \quad (5\text{-}22)$$

④按式(5-2)计算输出功率(老式电机再乘以 0.85～0.95)；⑤计算导线规格：

$$\left.\begin{aligned} d&=1.13\times\sqrt{\frac{\text{额定电流}}{\text{电流密度}}}=1.13\sqrt{\frac{I_s}{\Delta}} \quad (\text{丫形联接})\\ d&=1.13\times\sqrt{\frac{\text{额定电流}}{1.73\times\text{电流密度}}}\\ &=1.13\sqrt{\frac{I_s}{1.73\,\Delta}} \quad (\triangle\text{形联接}) \end{aligned}\right\} \quad (5\text{-}23)$$

上式中额定电流可按表 5-11 选取。

表 5-11　额定电流与功率的简单关系(丫接)

极　数	容　量　(千瓦)			
	0.6～2.8	2.8～10	10～28	28～75
	I_s (安)			
两　极	2.2×千瓦数	2.05×千瓦数	1.85×千瓦数	1.83×千瓦数
四　极	2.4×千瓦数	2.1×千瓦数	1.93×千瓦数	1.86×千瓦数
六　极	2.6×千瓦数	2.2×千瓦数	2× 千瓦数	1.9×千瓦数
八　极		2.25×千瓦数	2.1×千瓦数	2×千瓦数

3. 计算方法三

这一方法适用于老式电动机，计算方法如下：①按式(5-1)确定电动机的极数；②计算每槽匝数：

$$Z_1=\frac{K_z t U_{相}\times 10^5}{D_{i1} L b_{t1} Q_1 n}\text{（电压为 380 伏，Y 接法）}\quad (5\text{-}24)$$

式中：t——齿距$=\frac{\pi D_{i1}}{Q_1}$；

b_{t1}——齿宽（量取最小处）；

n——每分钟转速，两极的为 2880 转，四极为 1440 转，六极为 960 转；

系数 K_z 的范围在 5.1～6 左右，根据电机铁心的质量及生产年份选取，对于早年国产电动机 K_z 可取 5.7～6；对于早年进口电动机 K_z 约可取 5.7 左右，其中日、美、法、瑞典等国生产的电动机 K_z 可取 5.7 左右，意大利、比利时、西德等国生产的电动机 K_z 可取 5.4 左右；对于近年国产电动机 K_z 可取 5.4 左右。

导线规格和其他绕组数据的计算同前一种方法。

【例】 仍以 152 页的计算例题的电动机空壳为例，试用此法计算绕组数据，已知：$U_{相}=220$伏（Y 接），$D_{i1}=12$ 厘米，$L=10.4$ 厘米，$b_{t1}=0.5$ 厘米，$Q_1=36$，$n=1440$。

计算绕组数据：这台电动机已计算过适合做成四极电机，齿距 $t=\frac{3.14\times 12}{36}=1.05$ [厘米]，取 $K_z=5.7$，则每槽匝数：

$$Z_1=\frac{K_z t U_{相}\times 10^5}{D_{i1} L b_{t1} Q_1 n}=\frac{5.7\times 1.05\times 220\times 10^5}{12\times 10.4\times 0.5\times 36\times 1440}$$

$$\approx 41\text{（380 伏，Y 接法）}$$

计算结果与方法一极为接近。因绕组为双层迭绕，所以取 $Z_1=42$ 匝。导线规格的计算同上。

4. 计算方法四（用比例法求空壳电动机的绕组数据）

从计算方法一的公式中可以看出这样一个规律：每槽匝数的多少与电动机铁心的主要尺寸（定子内径、铁心长度）有

关，导线的规格与电动机功率的大小有关，而功率的大小又与铁心的主要尺寸有关。所以，型式相同、极数相同、铁心主要尺寸接近的电动机，它们的电磁负载和各种参数极为接近。根据这一原理，可将一台空壳电机与一台同型式、同极数、铁心尺寸极为接近的已知绕组数据的电动机相比较，用比例法求出空壳电动机的绕组数据。

计算方法如下：按式(5-1)计算空壳电动机的极数；根据空壳电动机的型式、极数、铁心主要尺寸，在附录中找到型式、极数与空壳电机相同，铁心尺寸与空壳电动机最为接近的一种电动机的绕组数据，根据式(5-3)，(5-6)，(5-7)，可列出这两台电动机的每槽匝数的计算式：

$$Z'_1=\frac{U'_1\times10^8\times3}{2.22\times f\times K'_{dp}\times\phi'\times Q'_1}$$

$$=\frac{U'_1\times10^8\times3\times P_{额}}{2.22\times f\times\pi D'_{i1}\times L'\times K\times B'_g\times Q'_1\times K'_{dp}}$$

$$Z_1=\frac{U_1\times10^8\times3}{2.22\times f\times K_{dp}\times\phi\times Q_1}$$

$$=\frac{U_1\times10^8\times3\times P_{额}}{2.22\times f\times\pi D_{i1}\times L\times K\times B_g\times Q_1\times K_{dp}}$$

式中：Z'_1——已知电动机的数据；

Z_1——待求电动机的数据。

因为这两台电动机型式相同，极数相同，铁心尺寸极为接近，所以它们的电磁负载及参数也极为接近。如果空壳电动机采用已知数据作为比较的电动机的联接法，则$U_1=U'_1$，$K_{dp}=K'_{dp}$，$B_g=B'_g$，将上两式相除得：

$$\frac{Z'_1}{Z_1}=\frac{D_{i1}LQ_1}{D'_{i1}L'Q'_1}$$

所以空壳电动机的每槽匝数：

$$Z_1 = Z_1' \frac{D_{i1}' L' Q_1'}{D_{i1} L Q_1} \tag{5-25}$$

导线规格：

$$d = d' \sqrt{\frac{D_{i1}' Z_1' Q_1'}{D_{i1} Z_1 Q_1}} \tag{5-26}$$

输出功率：

$$P_{额} = P_{额}' \frac{d^2}{(d')^2} \tag{5-27}$$

此计算方法很简易，只要有一份各种电动机的绕组数据，即可用简单的比例法求空壳电动机的绕组数据。但必须注意，空壳电动机的定、转子间的气隙长度不能超过规定的范围。

【例】 有一台封闭式电动机，测量得定子铁心的尺寸如下：$D_{i1}=11.2$ 厘米；$L=7.6$ 厘米；$h_o=1.8$ 厘米；$b_{t1}=0.8$ 厘米；$Q_1=24$。

计算极数：

$$2p=(0.35\sim0.4)\times\frac{24\times0.8}{1.8}=3.73\sim4.27,\ 取\ 2p=4$$

在附录中找到 JO 41-4 型电动机的形式与空壳电动机一样，极数相同，铁心尺寸最为接近。JO41-4 型电动机的数据如下：$D_{i1}'=11$ 厘米；$L'=8$ 厘米；$Q_1'=36$ 槽；$P_{额}'=1.7$ 千瓦，$Z_1'=52$；$d'=1.0$ 毫米；电压 220/380；接法 △/Y；线圈节距 1—8。

计算空壳电动机的绕组数据：

$$Z_1 = Z_1' \frac{D_{i1}' L' Q_1'}{D_{i1} L Q_1} = 52 \times \frac{11\times8\times36}{12\times76\times24} = 75.3 \approx 76 [匝]$$

$$d = d' \times \sqrt{\frac{12\times52\times36}{11\times76\times24}} = 1\times1.05 = 1.05\ [毫米]$$

选用直径为1.04毫米的高强度漆包线。

计算功率：

$$P_{额}=P'_{额}\times\frac{d^2}{(d')^2}=1.7\times\frac{1^2}{(1.04)^2}\approx1.83\approx1.7\text{ [千瓦]}$$

空壳电机采用220/380电压，△/Y 联接，线圈节距选用1—6，绕组为单层链式，分布系数及短距系数比作为比较的电动机稍高一些。考虑到这台电动机经过拆除绕组，铁心总有一点损耗，估计空载电流与所比较的电动机相近。

第二节　三相异步电动机的改压

早年生产的电动机，由于各地区的电网电压不统一，额定电压也不一样。解放后，我国电力工业发展迅速，建立了强大的电力网，实行了统一的电压级别标准，三相低压电源为380伏，50赫。这些不同电压的老式电动机就不能使用。有些高压电动机在没有高压电源的单位也就成了不能使用的闲搁物资。这些旧电动机的结构并没有损坏，经过改压修理后，仍能为工农业生产服务。

在进行电动机的改压时，首先应考虑改变电动机的接线来改变电动机电压的方法，这样就不用拆换绕组，既节省材料，又缩短了修改工时。当不能使用这种方法时，就要考虑拆换绕组。

1．用改变接线法改压

电动机改压后，必须使绕组的电流密度和每匝所承受的电压保持不变，这样电动机的温升和各部的磁通密度也保持不变，电动机的性能才能基本不变。为使线圈每匝所承受的电压不变，必须计算出改压前后的电压比，然后根据电动机原来的接线法，考虑能否用一种新的接线法，使电源电压改变

后，线圈每匝所承受的电压仍不变。如能达到要求，就能用改变接线方法进行改压，否则不能用这种方法。计算可按如下步骤进行。

1）计算改压的电压比 $U\%$：

$$U\% = \frac{U_1}{U_0} \times 100\% \tag{5-28}$$

式中：U_1——改变接线后的电动机电压；

U_0——原电动机的电压。

2）查明原电动机的接线法，是Y形接法还是△形接法，几路并联接线（几路进火）；

3）根据计算得出的电压比（$U\%$）和原电动机的接线法，查表 5-12 决定是否能用改变电动机的接线来改压，方法如下：首先在表中原绕组接法一栏中找到与该电动机原来接线法相同的一项，然后向右在横格中寻找等于或接近计算得出的电压比 $U\%$ 的数字，如找到这一数字，则对应于这一格顶上的新绕组接法就是该电动机改变电压后的接线法。

电压比 $U\%$ 与表 5-12 中的值必须相等或极为接近，否则因电压变化过大，改接后的电流密度和各部磁通密度将有较大的变动，会造成电动机温升过高或功率不足等现象。计算得出的电压比 $U\%$ 与表中电压比必须符合下式的关系：

$$\left| \frac{(U\%_{\text{计算值}} - U\%_{\text{表中值}}) \times U_0}{100} \right| \leqslant 19 \tag{5-29}$$

除了符合上述条件外，电动机的极数必须能被新接线法的并联路数整除，否则不能改接。例如，四极电动机只能接成一路、二路或四路并联，而不能接成三路并联。六极电机只能接成一路、二路、三路或六路并联，而不能接成四路或五路并联。

表 5-12　三相绕组改变接线的电压比

原绕组接法	新绕组接法															
	一路Y	二路Y	三路Y	四路Y	五路Y	六路Y	八路Y	十路Y	一路△	二路△	三路△	四路△	五路△	六路△	八路△	十路△
	U%															
一路Y	100	50	33	25	20	17	12.5	10	58	29	19	15	12	10	7	6
二路Y	200	100	67	50	40	33	25	20	116	58	39	29	23	19	15	11
三路Y	300	150	100	75	60	50	38	30	173	87	58	43	35	29	22	17
四路Y	400	200	133	100	80	67	50	40	232	116	77	58	46	39	29	23
五路Y	500	250	167	125	100	83	63	50	289	144	96	72	58	48	36	29
六路Y	600	300	200	150	120	100	75	60	346	173	115	87	69	58	43	35
八路Y	800	400	267	200	160	133	100	80	460	232	152	120	95	79	58	46
十路Y	1000	500	333	250	200	167	125	100	580	290	190	150	120	100	72	58
一路△	173	86	58	43	35	29	22	17	100	50	33	25	20	17	12.5	10
二路△	346	173	115	87	69	58	43	35	200	100	67	50	40	33	25	20
三路△	519	259	173	130	104	87	65	52	300	150	100	75	60	50	38	30
四路△	692	346	231	173	138	115	86	69	400	200	133	100	80	60	50	40
五路△	865	433	288	216	173	144	118	86	500	250	167	125	100	80	63	50
六路△	1038	519	346	260	208	173	130	104	600	300	200	150	120	100	75	60
八路△	1384	688	464	344	280	232	173	138	800	400	267	200	160	133	100	80
十路△	1731	860	580	430	350	290	216	173	1000	500	333	250	200	167	125	100

在改接前，先要把原来绕组的联接线拆开。一般电动机的绕组经过浸渍绝缘漆后都比较坚硬，难以拆开，可将定子绕组放在烘箱内加热（温度不宜超过105℃），或通以低压交流电流（单、三相均可），电压调整到使电流为电动机额定电流的百分之七十左右，使绕组软化。如经加热后，绕组的软化仍不够，可将定子绕组接线的一端浸泡在甲苯内约24小时后取出。但油基性漆包线不能用此法，因甲苯会破坏油基性漆包线的绝缘。联接线拆开后即可按新的接法联接，接线工艺可参阅第四章。

2. 拆换绕组改压

如用上法计算不能用改变接法来改压，或者原电动机的绝缘已老化不能使用，可拆换绕组。因为电动机只改变电压，新绕组的电流密度仍保持不变，因此可以用简单的比例法来求新绕组的数据。

新绕组每槽导线根数 Z_1 可按下式求出：

$$Z_1 = Z_0 \frac{U_1 a_1}{U_0 a_0} \tag{5-30}$$

式中：U_1——改变后的电压；

U_0——原电动机电压；

a_1——新绕组的并联支路数；

a_0——原绕组的并联支路数；

Z_0——原绕组每槽导线根数。

新绕组的导线截面积 S_1 可按下式计算：

$$S_1 = S_0 \frac{U_0 b_0}{U_1 b_1} \tag{5-31}$$

式中：S_0——原绕组导线截面积；

b_0——原绕组并绕导线根数；

b_1——新绕组并绕导线根数。

导线的直径与截面积的关系如下：

$$d=1.13\sqrt{S}; \qquad S=\frac{\pi}{4}d^2$$

按上述方法计算的新绕组，其绕组形式、节距、接线方式都和原来的绕组相同。

绕线转子式异步电动机改压时只要改变定子绕组，转子绕组不用改换；但在改极时则定、转子必须都改换。

【例一】 有一台 50 匹马力的 10 极电动机，电压是 2200 伏，今要改为 380 伏电压使用。

首先考虑能否用改变接线的方法来改压。计算电压比：

$$U\%=\frac{380}{2200}\times 100\%=17.3\%$$

查明原电动机是一路△形联接；查表 5-12，在原绕组接法一栏中找到一路△一项，在横格里找到17与17.3最为接近，并符合关系式(5-29)。对应的新接线法是 10 路丫形；电动机的极数能被并联支路数整除，所以这台电动机可以用改变接线的方法改压，原电动机的一路△形联接改为十路丫形联接就可使用于 380 伏电源上。图 5-8 为这台电动机的接线图。

【例二】 有一台 40 匹马力的 10 极电动机，电压是 3300 伏，今要改为 380 伏电压使用。

首先考虑能否用改变接线的方法。计算电压比：

$$U\%=\frac{380}{3300}\times 100\%=11.5\%$$

查明原电动机是一路丫形联接；查表 5-12 在原绕组接法一栏中，找到一路丫形一项，在横格内找到 12 与 11.5 最为接近，并符合于关系式(5-29)。对应的新接线法是五路△形联

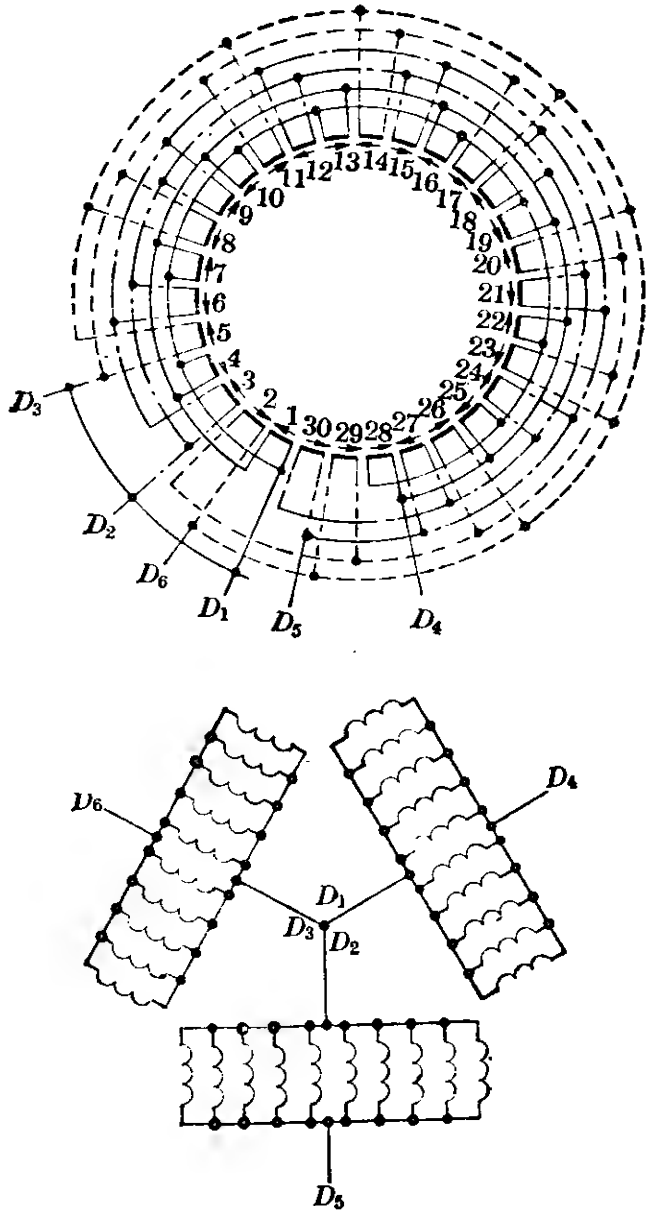


图 5-8　十极十路丫形联接

接。电动机的极数能被并联路数整除，即 10 极电动机可以接成五路并联 △ 形。所以这台电动机可以按图 5-9 的接法，使用于 380 伏的电源上。

【例三】 有一台 5 匹马力的 4 极电机，电压是 500 伏，今要改为 380 伏电压使用。

首先考虑能否用改接的方法。计算电压比：

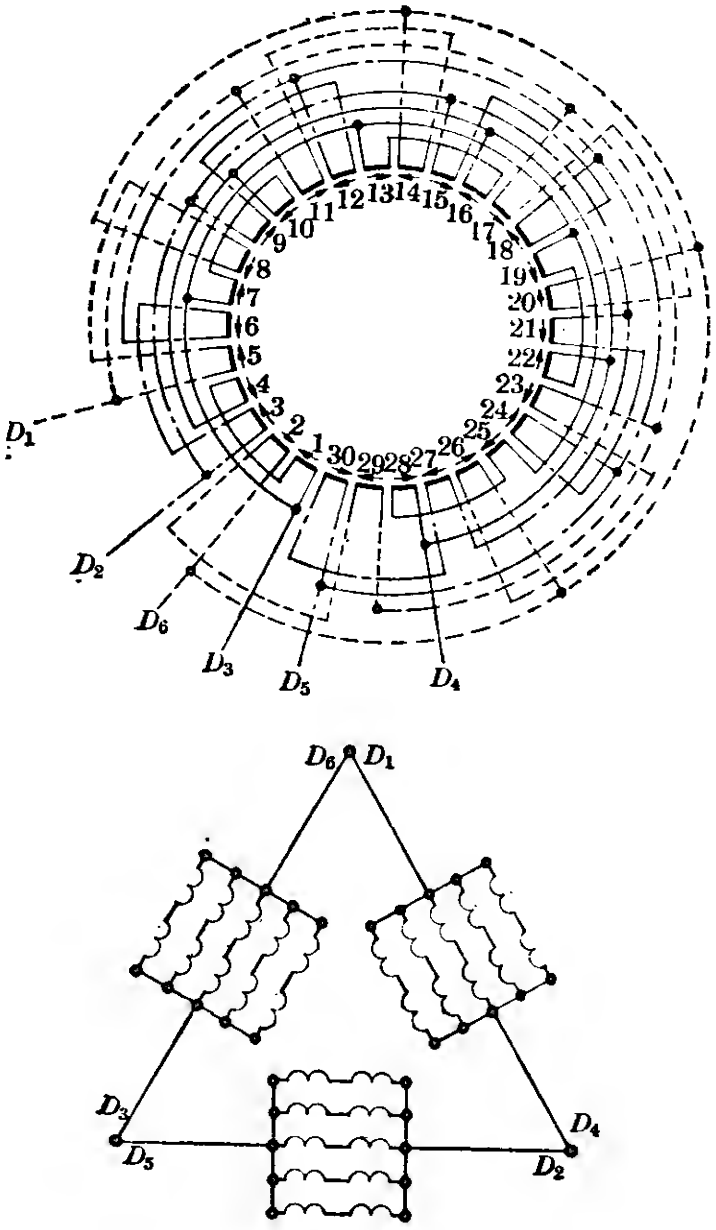


图 5-9　十极五路△形联接

$$U\% = \frac{380}{500} \times 100\% = 76\%$$

原电动机是一路 Y 形接法。查表 5-12 在原绕组接法一栏中，找到一路Y形一项，横格内最接近 76 的数字是 58，不符合关系式(5-29)。

所以这台电动机不能用改变接线的方法来改压，必须拆

换绕组。

拆除原绕组时记录得数据如下：每槽42根导线：$Z_0=42$；导线规格是1根直径1.20毫米的漆包线；绕组形式为双层迭绕组，每只线圈21匝，三只线圈串联成一组，共12组线圈组；线圈节距为1—9槽；定子铁心为36槽；一路丫形接法。

计算新的绕组数据：

$$Z_1=Z_0\times\frac{U_1a_1}{U_0a_0}=42\times\frac{380\times1}{500\times1}=32\ [匝]$$

$$S_1=S_0\times\frac{U_0b_0}{U_1b_1}=\frac{\pi}{4}\times(1.2)^2\times\frac{500}{380}=1.487\ [毫米^2]$$

$$d=1.13\sqrt{1.487}=1.37\ [毫米]$$

新绕组选用标准规格、直径为1.35毫米的QZ型高强度漆包铜线，每槽32根导线；每只线圈16匝，三只线圈串联为一个线圈组；绕组为双层迭绕组，线圈节距不变，接法为一路丫形。

【例四】 有一台20匹马力的4极电机，电压是550伏，今要改为380伏电压使用。计算电压比：

$$U\%=\frac{380}{550}\times100\%=69\%$$

原电动机是二路丫形联接。查表5-12最接近69的数字是67，对应的新接线法应是三路丫形；符合于关系式(5-29)，但极数不能被并联路数整除（四极电动机不能接成三路并联丫形），所以不能用改变接线来改压。必须拆换绕组。

记录得数据如下：$Z_0=46$；导线用直径1.50毫米单根纱漆包线，节距为8(1—9)，双层迭绕组，线圈组由三只串联线圈组成($q=3$)；二路丫形联接。

计算新绕组数据：

$$Z_1=Z_0\times\frac{U_1a_1}{U_0a_0}=46\times\frac{380\times2}{550\times2}=31.7\ (取双数32根)$$

$$S_1 = S_0 \times \frac{U_0 b_0}{U_1 b_1} = \frac{\pi}{4} \times (1.50)^2 \times \frac{550}{380} = 2.56 \text{ [毫米}^2\text{]}$$

$$d = 1.13\sqrt{2.56} = 1.808 \text{ [毫米]}$$

选用标准规格直径为1.81毫米的QZ型高强度漆包铜线；节距不变(1—9)；接法为二路丫形联接。

第三节　三相异步电动机的改极

有时在生产上急需某一极数的电动机，而暂时又无备用电动机，在这种情况下，可将其他极数的电动机改极。改变电动机的极数在一般的情况下都要重换绕组，因此，最好能寻找一台绕组已损坏的旧电机。电动机改变极数后由于各部分磁通都有所改变，电动机的性能也有变化，在改极时必须注意以下几个方面：

1) 电动机的极数改变了，其功率也相应有所变化。功率的改变与转速的改变近似地成正比关系，而与极数的改变近似地成反比关系。在改极时根据所需要的功率选择适当的电动机。

2) 改变后的电动机极数，应尽可能和改变前的极数比较接近，例如不宜将四极的电动机改为十极，六极的电动机改为两极等等。

3) 提高电动机的转速(减少极数)，应考虑到电动机的轴承和机械强度能否承受得住改极后的高速。

4) 改变极数应考虑定、转子的槽数配合是否适当，否则将会导致电动机振动过大或产生过大的噪声，严重时甚至电动机不能起动。定、转子的槽数之间的关系不应有下列各等式的关系：

$$Q_1 - Q_2 = \pm 2p; \qquad Q_1 - Q_2 = 1 \pm 2p;$$

$$Q_1 - Q_2 = \pm 2 \pm 2p$$

5）绕线转子式电动机要改变极数时，必须同时改变定、转子极数。

改变一台电动机的极数时，在拆线时应确切记录绕组的各项数据。

(1) 提高转速(减少极数)的计算　因极数减少，轭部磁通密度就显得紧张，而气隙磁通密度和齿磁通密度则较低，所以只要考虑轭磁通密度就可确定每极工作磁通：

$$\phi = 2h_c L B_c \times 0.93 \qquad (5\text{-}32)$$

轭磁通密度可适当增高一些，可取 16000 高斯左右，不宜超过 17000 高斯。

每槽匝数可根据空壳计算的公式求出：

$$Z_1 = \frac{3U_1 \times 10^8}{2.22 f K_{dp} 2h_c B_c Q_1 \times 0.93}$$

接法确定时可简化成下式：

$$\left.\begin{aligned} Z_1 &= \frac{6.41 \times 10^8}{2h_c B_c K_{dp} Q_1} \quad (380\text{伏，Y形接法}) \\ Z_1 &= \frac{11.1 \times 10^8}{2h_c B_c K_{dp} Q_1} \quad (380\text{伏，△形接法}) \end{aligned}\right\} \qquad (5\text{-}33)$$

导线规格可根据原电动机的数据计算；槽满率与原电动机相同，则

$$d = d' \sqrt{\frac{Z_1'}{Z_1}} \qquad (5\text{-}34)$$

式中带(′)的代表原电动机的绕组数据。

如电动机提高一个转速等级(例如四极改为两极)，可以参照原电动机的绕组数据。根据经验，轭磁通密度可提高百分之十左右，改极后的每槽匝数可用比例法简捷求出：

$$Z_1 = Z_1' \times (85\% \sim 90\%) \tag{5-35}$$

导线直径按式(5-34)计算。

绕组节距：

$$y = y' \left(\frac{2p'}{2p} \right) \tag{5-36}$$

电动机容量：

$$P_{额} = P'_{额} \frac{d^2}{(d')^2} \tag{5-37}$$

用此法计算，接线方法必须与原电动机相同。

(2) 降低转速(增多极数)的计算　电动机的极数增多后每极工作磁通 $\phi = \alpha_g S_g B_g$ 将因空气隙极距面积 S_g 减小而降低，为原电动机每极工作磁通的 $\frac{2p'}{2p}$；由式(5-6)可知，每槽匝数将增加为原电动机每槽匝数的 $\frac{2p}{2p'}$。由于极数增加，轭磁密 B_c 就比较宽裕，所以 B_g 的值可增加 5～10%。因此每槽匝数：

$$Z_1 = Z_1' \frac{2p}{2p'} \times 0.95 \tag{5-38}$$

导线直径：

$$d = d' \sqrt{\frac{Z_1'}{Z_1}} \tag{5-39}$$

改极后的容量：

$$P_{额} = P'_{额} \frac{(d)^2}{(d')^2} \tag{5-40}$$

电动机的接法和原电动机相同。

【例一】 有一台JO型1.7千瓦的四极电动机，现要改为六极，试计算绕组数据。

拆除原电机(四极)的绕组时记录得数据如下：电压

220/380；接法 △/Y；定子为 36 槽：每槽 54 匝；导线规格为 1 根直径 1.00 毫米的高强度漆包线；线圈节距为 1—8；绕组为一路串联。

计算改成六极时的绕组数据：

$$Z_1=Z_1'\times\frac{3}{2}\times0.95=54\times\frac{3}{2}\times0.95\approx77\ [匝]$$

（取 $Z_1=78$ 匝）

导线直径：

$$d=d'\times\sqrt{\frac{54}{78}}=0.83$$

选用直径为 0.83 毫米的高强度漆包线。节距：

$$y=y'\frac{2p'}{2p}=7\times\frac{4}{6}=4.7\approx5$$

电源电压及接法同原电机：220/380，△/Y；容量：

$$P_{额}=P'_{额}\frac{(d)^2}{(d')^2}=1.7\times\frac{(0.83)^2}{1}=1.15\ [千瓦]$$

【例二】 有一台 J 型 4.5 千瓦的四极电动机，计算改为两极时的绕组数据。

拆除旧绕组时记录得数据如下：电压 220/380；接法 △/Y；定子槽数 $Q_1=36$；每槽 34 匝；导线为 1 根直径 1.40 毫米的单纱漆包线；节距为 7。

计算两极时的绕组数据：

$$Z_1=Z_1'\times0.85=34\times0.85=29\ （取\ Z_1=28\ 匝）$$

$$d=1.40\times\sqrt{\frac{34}{28}}=1.5428$$

选用直径为 1.56 毫米的高强度漆包线。

$$P_{额}=P'_{额}\frac{(d)^2}{(d')^2}=4.5\times\frac{(1.56)^2}{(1.4)^2}=5.58\approx5.5\ [千瓦]$$

$$y=y'\times\frac{4}{2}=7\times2=14$$

电源电压和接法仍为 220/380，△/Y。

第四节　单速电动机改绕单绕组双速电动机

有时生产上需要有两种转速的电动机，但普通鼠笼式异步电动机的转速是固定的，由电动机的极数决定(在电源频率不变的条件下)：

$$n\,(\text{同步转速})=\frac{60f}{p}=\frac{3000}{\text{极对数}}$$

根据上式，变换鼠笼式异步电动机的转速就需要 ① 变更电动机的极数，② 变换电源的频率；此外就需要附加其他设备来调速(例如滑差电机)。变换电源频率需要变频设备，变极调速则比较简单易行。一般用变极办法在一台电动机上得到两种转速可以有两种方法，一种方法是在定子槽内嵌有两套不同极数的绕组，这种双速电动机利用率低(只用一半，另一极数的绕组是空着不用的)，体积大，功率小，现已很少采用；另一种方法是在一套绕组中通过变换接线的方法来变极，得到两种不同的转速，这就是单绕组双速电动机。

1. 单绕组变极调速的原理

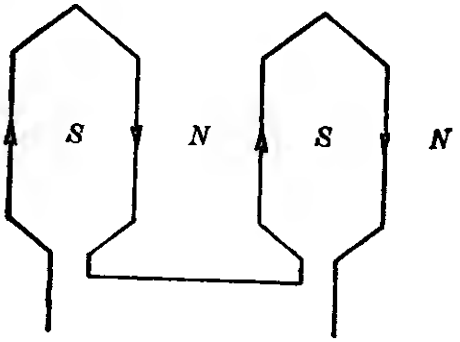
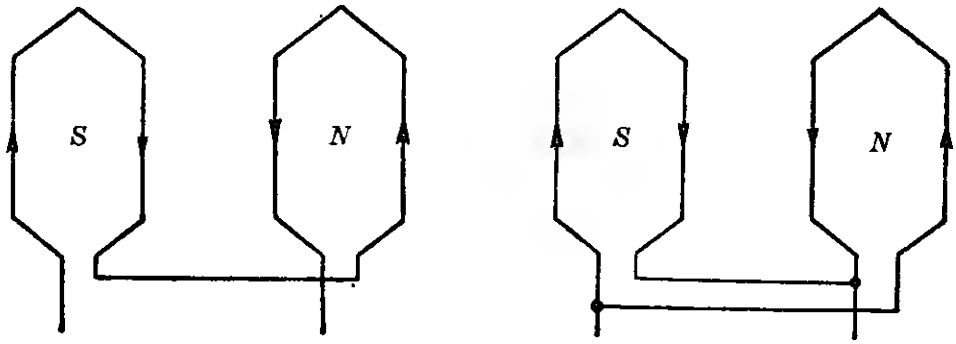


图 5-10　三相四极电动机的一相绕组

在单绕组变极中，最常用的方法是改变绕组中一部分线圈的电流方向。如图 5-10 是三相四极电动机的一相绕组，如果改变一下接法，使一半线圈的电流反向，绕组就变成了两极，如图 5-11 所示，可有两

种接法，图 5-11(*a*)为改变一只线圈头尾的串联接法，图 5-11(*b*)为并联接法。



(*a*)　　(*b*)

图 5-11　由四极绕组变换成的两极绕组

应用这个原理，就可以在一套绕组中，通过改变其中一部分线圈的电流方向来改变电动机的极数。改变一部分线圈的电流方向可以用转换开关或接触器来达到。

单绕组双速电动机有倍极比和非倍极比，倍极比就是一种极数是另一种极数的两倍，例如 2/4 极、4/8 极等，不是这样比例关系的就是非倍极比，例如 2/6 极、6/8 极等；倍极比安排绕组比较方便。这里就讲一讲倍极比双速绕组的排列方法。第二章中讲过用槽矢量星形图安排绕组的方法，安排双速绕组通常都采用这种方法。

2．双速绕组的安排

图 5-12 是三相两极 24 槽的定子绕组槽矢量图，图的作法可参阅第二章第五节。三相绕组的平衡条件是每相绕组各槽的矢量和大小应该相等，相位应该相差 120° 电角。24 个槽分为三相，每相各占 8 个槽，分作两个极；应选择靠近的槽矢量作为一相，今取第 1、2、3、4 槽的线圈边作为 *A* 相，则第 13、14、15、16 槽的线圈边也应该是 *A* 相，电流方向与第 1、2、3、4 槽相反，应加上负号；与 *A* 相的第 1、2、3、4 槽相隔 120° 电

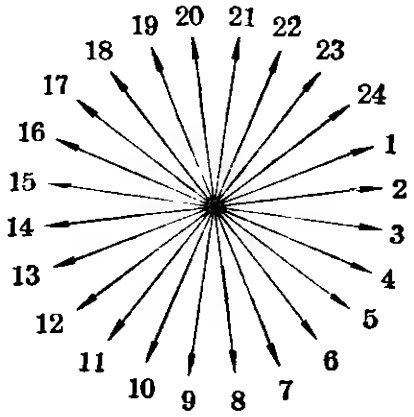


图 5-12　三相两极 24 槽电动机槽矢量星形图

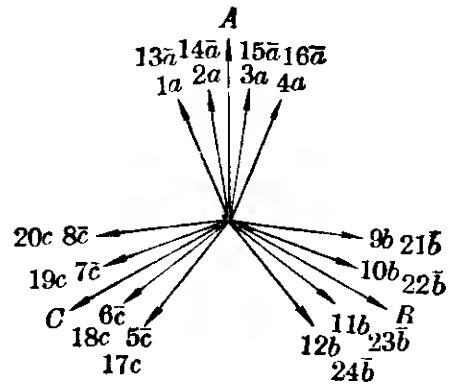


图 5-13　三相两极 24 槽电动机 60° 相带矢量分布

角度的第 9、10、11、12 槽应为 B 相，-21、-22、-23、-24 槽也为 B 相；第 17、18、19、20 槽与 -5、-6、-7、-8 槽应为 C 相。在各相槽矢量的中心各作三根相轴，就得出如图 5-13 所示的槽矢量分布图。每槽的相号已经确定，就可列出绕组的排列表如下：

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相	a	a	a	a	$-c$	$-c$	$-c$	$-c$	b	b	b	b
槽号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
相	$-a$	$-a$	$-a$	$-a$	c	c	c	c	$-b$	$-b$	$-b$	$-b$

这是一般两极 24 槽电机的绕组，矢量分布比较集中；在矢量星形图中，每相各占 60° 电角度的位置，这就是 60 度相带绕组，分布系数是比较高的。

如果改变上述绕组的接线，使绕组中一半线圈边的电流反向，上述两极电机就可变成四极。今试在上述槽矢量星形

图的基础上来作四极的槽矢量星形图。接线的变化，只改变线圈边的电流方向，不改变其相位。四极电动机的电角度是720°，相邻槽间的电角度是30°，每隔30°（几何角）作一槽矢量，再把原来两极时的相号标上，当A相的第1、2、3、4槽的电流方向为正时，第13、14、15、16槽的电流方向应与两极时相反，亦应该为正，否则就不能形成四极；同样也可决定其他各槽的相位。在每相的槽矢量中心作三根相轴，得出如图5-14所示的槽矢量分布图。这样各槽的相位已经确定，就可列出绕组的排列表如下：

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相	*a*	*a*	*a*	*a*	*c*	*c*	*c*	*c*	*b*	*b*	*b*	*b*
槽号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
相	*a*	*a*	*a*	*a*	*c*	*c*	*c*	*c*	*b*	*b*	*b*	*b*

每相的槽矢量在星形图中占120°电角度，这就是120度相带绕组，分布系数(0.83)较两极时为低。

图5-15是一般三相四极24槽电动机的定子绕组的槽矢量分布图，每相槽矢量占60°电角度(60度相带绕组)，分布系数是比较高的(0.966)。从图5-14与图5-15的比较中可以看出，60度相带绕组的槽矢量分布集

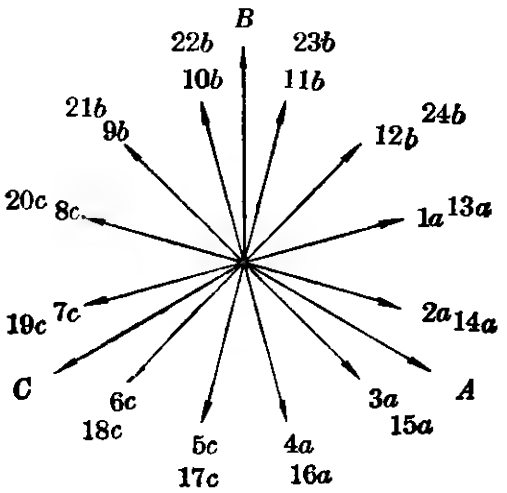


图5-14　两极变成四极的槽矢量星形图

中，所以分布系数比较高，而120度相带绕组的槽矢量分布比较分散，所以分布系数就较低。单速电动机的绕组都采用分布系数高的60度相带绕组；在多速电动机中，为了取得两种或两种以上转速，一般高速时采用60度相带绕组，低速时采用120度相带绕组。为了照顾低速时的绕组分布系数较低，所以绕组的节距一般采用低速时的全节距，这样绕组系数 K_{dp} 就可比较平衡。

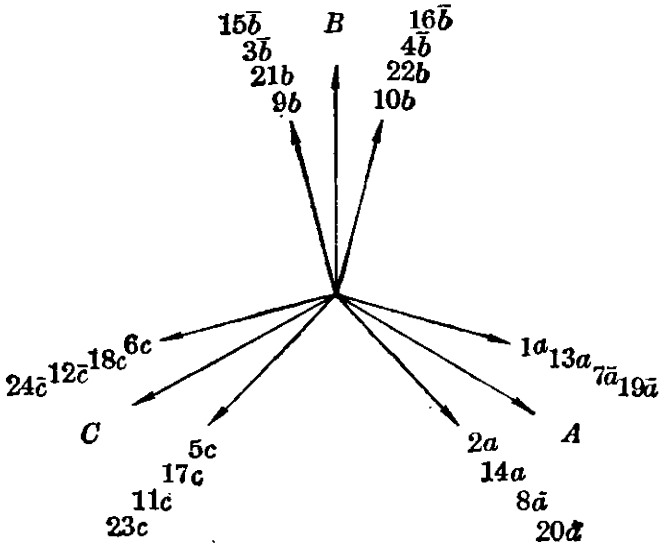


图 5-15　普通三相四极电动机的槽矢量分布

3. 单速电动机改为双速(倍极比)的简易计算方法

单绕组双速电动机的联接方法根据使用要求而定，如要求在两种极数时转矩接近，可选用 2Y/Y 接法；如要求在两种极数时输出功率接近，可选用 2Y/△ 接法，一般以 2Y/△ 接法为多。

(1) *选择绕组的节距*　一般双速电动机的定子绕组多采用双层迭绕的形式，因为双层绕组可以做成任何的短节距。由于单绕组双速电动机在低速时为120度相带绕组，分布系数比较低，为使两种极数时的绕组系数比较接近，所以节距一般选用低速时的全节距。

(2) *计算每槽匝数*　单速电动机改绕单绕组双速电动机，最好选择其中有一极数与原单速电动机相同；根据双速电动机在和原单速电动机极数相同时电机磁路各部分磁通密度

也相同的原理，可根据原单速电动机的每槽匝数，来求得双速电动机的每槽匝数。为计算方便，表 5-13 中列出两极电动机改为 2/4 极单绕组双速电动机和四极电动机改为 2/4 极单绕组双速电动机的计算方法；表 5-14 中列出四极电动机改为 4/8 极单绕组双速电动机的计算方法。

表 5-13　两极电动机和四极电动机改为 2/4 极双速电动机的绕组参数计算表

	2 极 Y 改 2极Y Y/4极Y	2 极 Y 改 2极Y Y/4极△	4 极 Y 改 2极Y Y/4极Y	4 极 Y 改 2极Y Y/4极△
节距	低速全节距	低速全节距	低速全节距 或 低速全节距 ×1.1	低速全节距 或 低速全节距 ×1.1
每槽匝数 Z_1	$Z_1=Z_1'\times1.1\times2$	$Z_1=Z_1'\times1.1$ $\times2\times1.45$	$Z_1=Z_1'\times1.1$ $\times1.34$	$Z_1=Z_1'\times1.1$ $\times1.7$
导线直径 d	$d=\sqrt{\frac{Z_1'}{Z_1}}\times d'$			
功率 $P_{额2}$—两极 $P_{额4}$—四极	$P_{额2}=P'_{额}$ $P_{额4}=P_{额2}$ $\times0.45$	$P_{额2}=\frac{1}{2}$ $\times\frac{(d)^2}{(d')^2}\times P'_{额}$ $P_{额4}=P_{额2}$ $\times0.74$	$P_{额4}=\frac{(d)^2}{(d')^2}$ $\times P'_{额}$ $P_{额2}=P_{额4}$ $\times2.35$	$P_{额4}=1.73$ $\times\frac{(d)^2}{(d')^2}\times P'_{额}$ $P_{额2}=P_{额4}$ $\times1.35$

注：带(′)的为原单速电机数据。

表 5-14　4 极电机改为 4/8 极双速电动机的绕组参数计算表

	4 极 Y 改 4 极 YY/8 极 Y	4 极 Y 改 4 极 YY/8 极 △	4 极 Y 改 4 极 △/8 极 YY
节距	8 极全节距 或， 4 极全节距 $\times\frac{2}{3}$	8 极全节距 或 4 极全节距 $\times\frac{2}{3}$	8 极全节距 或 4 极全节距 $\times\frac{2}{3}$
每槽匝数 Z_1	$Z_1=Z_1'\times 3$	$Z_1=Z_1'\times 3.8$	$Z_1=Z_1'\times 4.4$
导线直径 d	$d=\sqrt{\frac{Z_1'}{Z_1}}\times d'$		
功率 $P_{额4}$—4 极 $P_{额8}$—8 极	$P_{额4}=2\times\frac{(d)^2}{(d')^2}\times P'_{额}$ $P_{额8}=\frac{(d)^2}{(d')^2}\times P'_{额}$	$P_{额4}=2\times\frac{(d)^2}{(d')^2}\times P'_{额}$ $P_{额8}=1.7\times\frac{(d)^2}{(d')^2}\times P'_{额}$	$P_{额4}=1.7\times\frac{(d)^2}{(d')^2}\times P'_{额}$ $P_{额8}=2\times\frac{(d)^2}{(d')^2}\times P'_{额}$

注：带(′)的为原单速电机数据。

【例一】 有一台 24 槽四极电动机，试计算改成 2/4 极双速电动机的绕组数据和绕组排列。

原四极电机的绕组数据如下：$Q_1=24$ 槽；每槽 92 匝，即 $Z_1'=92$；导线直径为 0.72 毫米($d'=0.72$)；节距为 1—6；单层链形绕组；功率为 1 千瓦；一路 Y 形联接；电压 380 伏。

选用高速时为正规 60 度相带绕组，低速时为 120 度相带绕组。

绕组的联接，要求在两种极数时输出功率接近，选用两极时为2Y，四极时为△的联接法。

选择节距：选用四极时的全节距，即1—7，绕组形式为双层迭绕组。

计算每槽匝数：

$$Z_1=92\times1.1\times1.7=172\ [匝]$$

计算导线直径：

$$d=\sqrt{\frac{92}{172}}\times0.72=0.527$$

选用直径为0.51毫米的高强度漆包线。

计算功率：

$$P_{额4}=1\times1.73\times\frac{(0.51)^2}{(0.72)^2}=0.86\ [千瓦]$$

$$P_{额2}=0.86\times1.35=1.15\ [千瓦]$$

两极时的槽矢量分布图见图5-13，四极时的槽矢量分布

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
两极	a	a	a	a	$-c$	$-c$	$-c$	$-c$	b	b	b	b
四极	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b
反向指示					△	△	△	△				
槽号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
两极	$-a$	$-a$	$-a$	$-a$	c	c	c	c	$-b$	$-b$	$-b$	$-b$
四极	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b
反向指示	△	△	△	△					△	△	△	△

图见图 5-14，于是就可列出绕组的排列表如上。

表中有△记号的是变极时槽内线圈边的电流方向反向的。由此可以看出，在四极时有一半线圈的电流方向与两极时相反，这个反向通过改接引出线来达到；图 5-16 示绕组接线和引出线的接法。

【例二】 有一台 JO 42-4 型三相四极电动机，试计算改为 4/8 极单绕组双速电动机的绕组数据及绕组排列方法。

原四极时的绕组数据：$Q_1=36$ 槽；每槽 36 匝($Z_1'=36$)；$d'=1.25$ 毫米；节距 1—8；额定功率 2.8 千瓦；一路Y形联接；电压 380 伏。

选用四极时为正规 60 度相带绕组，八极时为 120 度相带绕组。

绕组的联接，要求两种极数的输出功率接近，选用四极时YY联接，八极时△形联接。

选择绕组节距：选用八极时的全节距：$y=\frac{36}{8}=4.5\approx5$，即 1—6。

计算每槽匝数：

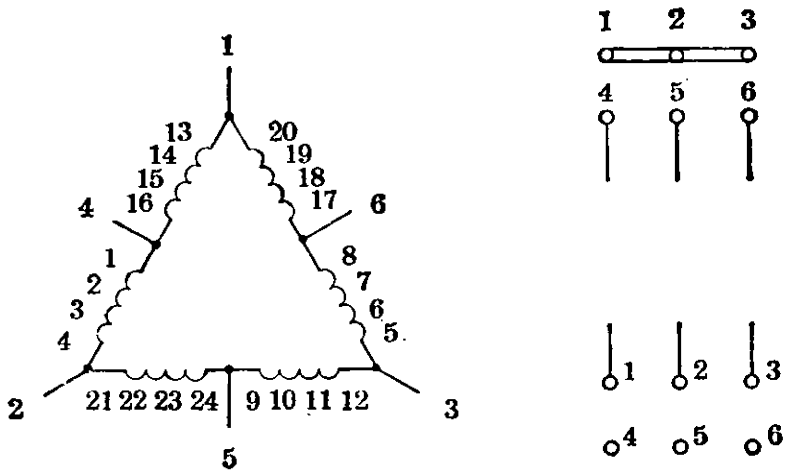


图 5-16 2/4 极双速电动机绕组的联接法

$$Z_1 = 36 \times 3.8 = 136 \text{ [匝]}$$

计算导线直径：

$$d = \sqrt{\frac{36}{136}} \times 1.25 = 0.64$$

选用直径为 0.64 毫米的高强度漆包线。

计算功率：

$$P_{额4} = 2 \times \frac{(0.64)^2}{(1.25)^2} \times 2.8 = 1.5 \text{ [千瓦]}$$

$$P_{额8} = 1.7 \times \frac{(0.64)^2}{(1.25)^2} \times 2.8 = 1.26 \text{ [千瓦]}$$

列出绕组排列如下表：

槽　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
四　极	a	a	a	$-c$	$-c$	$-c$	b	b	b	$-a$	$-a$	$-a$	c	c	c	$-b$	$-b$	$-b$
八　极	a	a	a	c	c	c	b	b	b	a	a	a	c	c	c	b	b	b
反向指示				△	△	△				△	△	△				△	△	△
槽　号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
四　极	a	a	a	$-c$	$-c$	$-c$	b	b	b	$-a$	$-a$	$-a$	c	c	c	$-b$	$-b$	$-b$
八　极	a	a	a	c	c	c	b	b	b	a	a	a	c	c	c	b	b	b
反向指示				△	△	△				△	△	△				△	△	△

从绕组排列表可以看出，在八极时有一半线圈的电流方向是和四极时相反的，这可以通过改变绕组接线来达到；四极时为丫丫接法，八极时为△接法，可以参考图 5-16。

第六章　电动机机械故障的修理

电动机在长期使用中，其机械结构部分将逐渐磨损，磨损到一定程度时电动机就将不能正常运转；此外，由于使用不当，维护不周，受到外力的冲击，都会造成机械部分变形、破裂。这些机械故障如不及时发现和妥善处理，那末最后将导致整个电动机损坏。例如，电动机的轴承磨损后如不及时修理，就将造成转子与定子铁心相擦，最后引起绕组发热直至烧毁。因此，在检修电动机时，对于机械故障的检查和修理也不能忽视；在日常保养中，对于机械部分的维护也必须严加注意。

电动机中的机械故障也是比较多的，但不外是机壳、转轴、轴承等几个方面的问题，本章中将介绍有关这几个方面的修理知识。

第一节　转轴的故障和修理

转轴是电动机出力的输送部件，它必须满足以下几点要求：①轴的中心线应为直线，没有摆动；②轴颈与轴枢应成圆形；③轴颈与轴枢表面应平滑，没有凹穴、波纹、刮痕；④键槽的工作表面应平滑，垂直，没有裂痕和毛角。转轴有任何缺陷，都必须及时修理。

1. 轴枢弯曲的检查和修理

把需要检查的电动机转子放到车床上用千分表或划针盘测量，如图 6-1 所示。转轴弯曲度不许超过 0.2 毫米，超过允

许范围就要加以矫正，矫正可以在压力机上进行，将转轴放到压力机下，在轴弯曲处加压至矫直，矫正后的表面部分要放到车床上切削磨光。

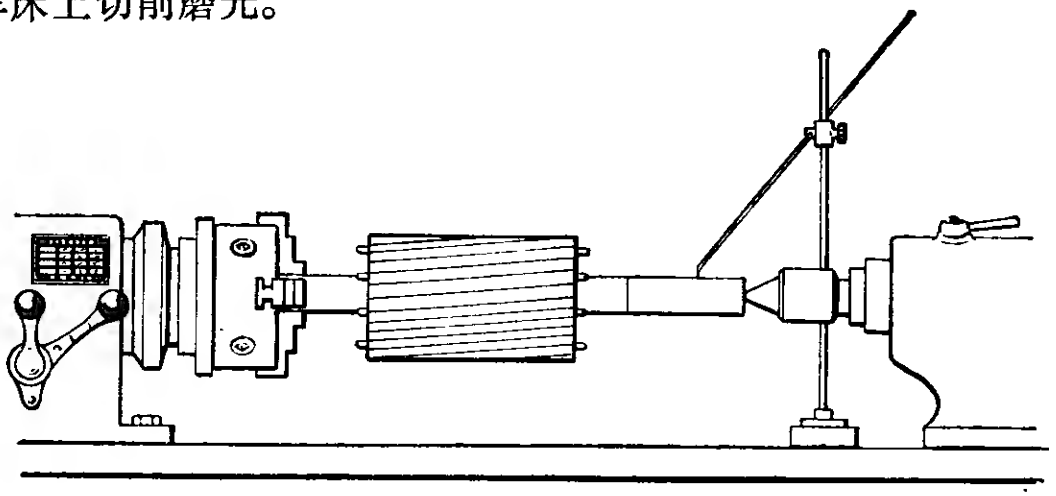


图 6-1　检查轴枢弯曲

2. 键槽磨损的修理

键槽磨损时，可用电焊在磨损处进行堆焊（勿采用风焊，以免轴枢变形），然后放在车床上切削和重铣键槽，如图 6-2(*a*)所示。如果键槽磨损不大，可在磨损处稍加宽一些(加宽度不超过原键槽的 10% 左右)；也可以在磨损键槽的对面另铣一个键槽，如图 6-2(*b*) 所示。

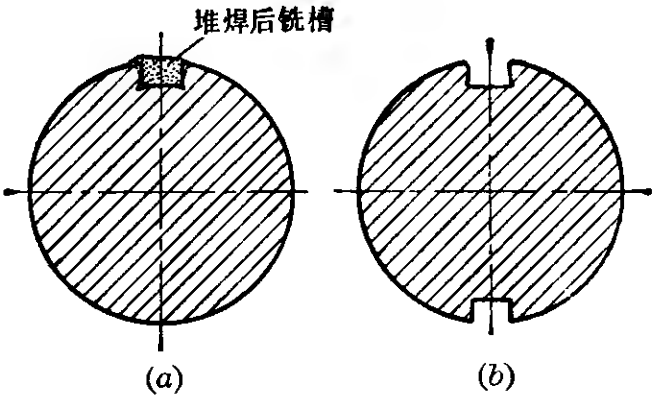


图 6-2　键槽磨损的修理

(*a*) 堆焊后重铣槽；　(*b*) 在对面另铣槽

3. 轴颈磨损的修理

轴颈表面应该光滑没有裂痕、凹穴、波纹或刮痕，轴颈直径不应减小。轴颈磨损较严重时转子就将偏移而与定子铁心相擦(见图 6-3)。轴颈磨损处可用电焊堆焊，然后放在车床上切削磨光达到原来尺寸，如图 6-4(a) 所示。如果磨损较严重，或堆焊会造成轴变形，可先在车床上把磨损的轴颈车光，然后镶上一段无缝钢管，再车到原来的尺寸，如图 6-4(b) 所示。

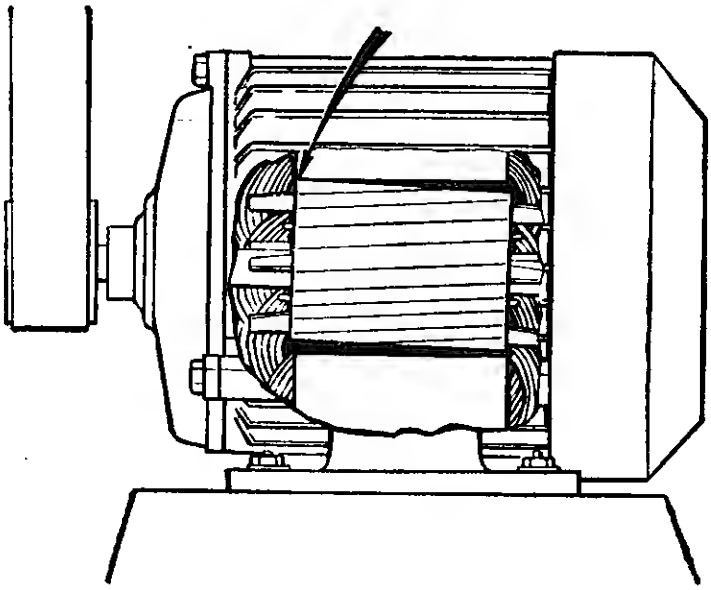
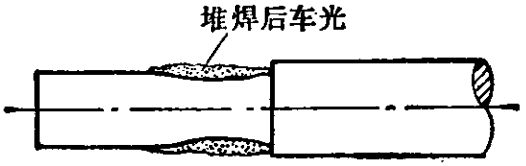
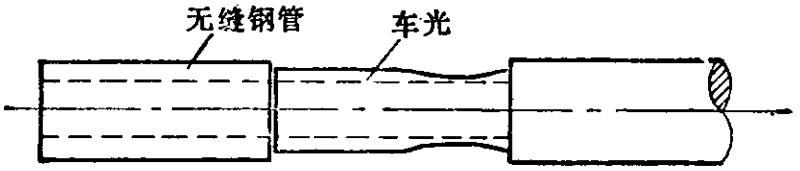


图 6-3　轴颈或轴承磨损将造成转子与定子铁心相擦



(a)



(b)

图 6-4　轴颈磨损的修理

4. 轴断裂的修理

轴断裂或有裂纹一般需要更换新轴(材料选用35～45号钢)。如果换轴一时有困难，在不影响轴的质量的前提下，也可采用补接方法：先在车床上把断轴的断裂端面车光，然后在端面钻一个小孔(孔径约为轴径的1/3)，内攻螺纹；再在车床上车一根和断裂部分相同的轴枢并在一端车螺纹，把这段短轴镶入断轴的螺孔内，然后再用电焊在断裂端面与新镶入部分交界处堆焊，再在车床上车磨光并铣键槽，如图6-5所示。

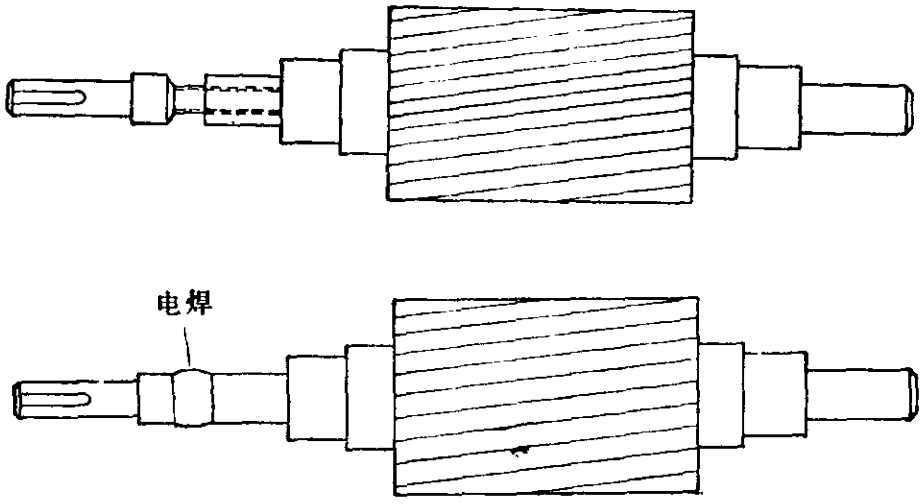


图6-5 断轴的修理

第二节 机座的修理

1. 机座底脚的修理

电动机的机壳底脚一般都用铸铁制成，如果安装不平，电动机震动或受机械外力的作用都可能使机座底脚开裂或断裂。机座底脚有裂缝或断裂，可用铸铁焊条焊接；考虑到铸铁的内应力，在焊前可用喷火器把焊接处加热至600℃左右，焊接后让其自然冷却(也可用铜焊条焊接)。有时断裂部分离电动机的铁心外壳很近，或两边底脚全断裂了，如果加热会热坏

电机的绕组，这时可用角铁修补：把角铁（角铁大小根据底脚大小）制成断裂底脚的形状，用固紧螺栓紧固在电动机的外体上，如图6-6所示。

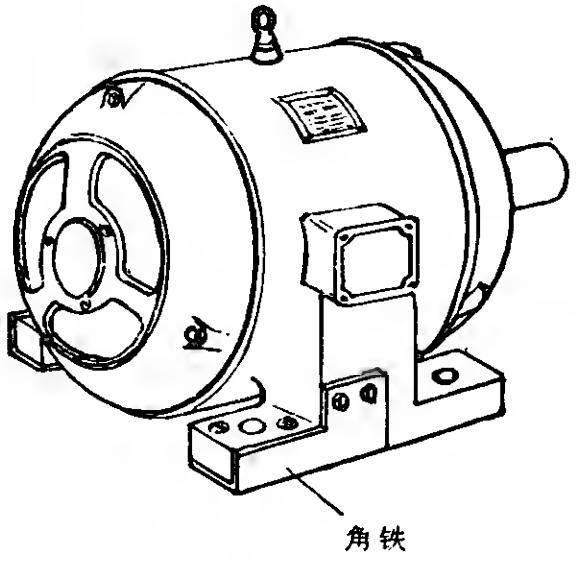


图6-6　用角铁修补底脚

2．端盖的修理

电动机的端盖是用铸铁制成，若受到不应当受的应力，往往就会碎裂。端盖破裂会影响电动机定子与转子的同心度，所以必须更换或修补，更换有困难时一般可用铸铁焊条焊接。焊前必需把端盖加热至600℃左右，然后用铸铁焊条焊接；焊接后可放在稻草灰内让其自然冷却，或放到烘房内逐渐降温冷却，以消除内应力；切勿用冷水冷却，这样会造成端盖崩裂。没有电焊的地方，或裂缝处较多，不宜电焊时，可用5～7毫米厚的铁板修补：按裂缝形状割取适当大小的铁板，用固紧螺栓固紧在端盖上，如图6-7所示。修补时应随时注意端盖的同心度。

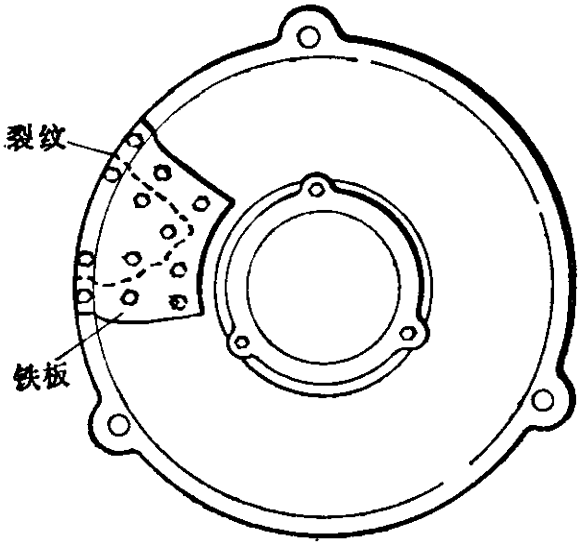


图6-7　端盖破裂的修补方法举例

3．端盖止口松动的修理

端盖止口与机座配合的松紧，其最大间隙不应超过表6-1

所规定。端盖的止口松动时，转子将偏离中心位置，造成定子与转子相擦。修理的方法，可把端盖放到车床上把磨损的止口车去，再重新车一个止口。但这样一来，端盖缩进了一段距离，转子轴的轴承档也必须相应车进去一些，使轴承能和端盖轴承孔配合。此外还要注意绕组端部是否碰端盖。

表 6-1　端盖止口配合间隙

端盖止口外径（毫米）	300	500	800	1000
最大间隙（毫米）	0.05	0.10	0.15	0.20

4. 端盖轴承孔间隙增大的修理

端盖轴承孔的间隙如果增大到超过 0.05 毫米，就将造成转子下坠而与定子铁心相擦。发生了这种情况可采取下列的方法修理：

(1) 镶补法　在车床上把端盖轴承孔的磨损面车光，镶入一段无缝钢管，再车成原来的轴承孔。

(2) 电镀法修补　在磨损的轴承孔内表面电镀上一层镍，使孔径缩小恢复至原来大小。电镀的布置见图 6-8，以加

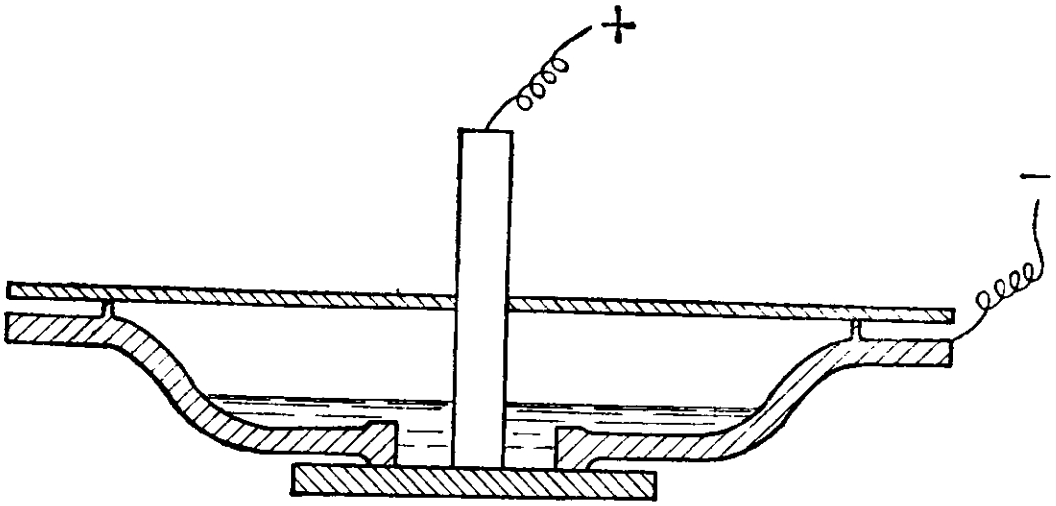


图 6-8　电镀法修理端盖轴承孔

工端盖的轴承孔作为阴极，这样就可以省去电镀槽；以镍棒为阳极，放置在端盖轴承孔的中心处；端盖放平，轴承孔下面用塑料纸涂少量万能树胶封住作底，以便在轴承孔内放入电解液。电解液配方如下：

硫酸镍	$NiSO_4 \cdot 7H_2O$	250 克
硫酸钠	Na_2SO_4	100 克
硫酸镁	$MgSO_4$	45 克
硼　酸	H_3BO_3	40 克
氯化钠	NaCl	12 克
蒸馏水		1 升

上述成分配好后，加热至 80～90℃ 约 1 小时，使它充分溶解，然后再过滤。再以镍棒为阳极，溶液作阴极，通电流电解 1～2 小时，以增加镍离子的浓度。

电解液的 pH 值对镀层均匀程度影响很大，一般 pH 值应在 4.8～5.2 之间；pH 值接近下限时，轴承孔内凹处可能较难镀上，pH 值接近上限时，镀层易脱落。电解液配好后，如 pH 值较高，可加 3% 稀硫酸调节至正常，如果 pH 值较低，可加 3% 氢氧化钠溶液调节至正常。电解液温度不宜太高，以 18～40℃ 为最宜，如果超出 40℃，则会影响阳极上镍离子的着落能力。

电镀前，应将端盖彻底洗净油垢，可以用氢氧化钠溶液冲洗或肥皂擦洗，然后用 0 号铁砂布将内孔铁锈擦净，最后用汽油或丙酮洗净并用干净纱布擦干。

电镀时的电流密度，按镀件面积一般以 0.5 安/分米^2 为最宜，以电流逐渐增大至阳极表面有少量气泡出现为准；如以时间来衡量，以每小时镀厚 10～20 微米(1～2 丝)为最宜；如以电流表读数为准，不宜超过 0.5 安培。电镀电源可用任何

容量相当的整流电源或蓄电池，电压 6～8 伏。

5. 定子铁心外壳裂缝的修理

一般电动机外壳是铸铁制成的，外壳发生裂缝后定子铁心在外壳内就会松动。外壳裂缝有纵的或横的裂缝，裂缝处可用铸铁焊条进行焊补。为了保证外壳精确同心度，防止外壳焊补后外形变动，应预先用铁条把裂缝处固紧，然后把铸铁外壳加热至 600°C 左右，用铸铁焊条进行焊补。焊补后必需把外壳放到稻草灰或烘房内让其渐渐冷却，以消除内应力。也可用铜焊进行焊补，这就不必加热了。有时电动机外壳裂缝后，因定子铁心嵌有绕组，无法拆出，如果用铸铁焊条进行焊补，就必需加热，这样会影响绕组质量，这时可用 5～7 毫米厚的铁板用固紧螺栓在裂缝处固紧(参照端盖的修补)。

6. 定子铁心的修理

电动机的定子铁心是由硅钢片迭压而成，硅钢片之间互相绝缘并用铁圈压紧，用最薄的塞片也无法插进硅钢片的中间。

常见的铁心故障有：①铁片间短路；②铁心松弛；③拆除旧线时操作不妥使硅钢片向外张开；④因线圈短路或碰铁而造成铁心槽齿熔毁等等。上述故障的原因主要是铁心的两侧的压圈压得不够紧；定子铁心压入机壳时配合不紧密或焊接处脱焊；拆除旧线用火烧因而硅钢片表面的绝缘烧坏；拆除旧线用力过猛使硅钢片齿部沿轴向向外张开；有时因为绕组短路产生高热而熔毁槽齿；以及受到机械外力的撞击等等。

在修理前，先把铁心清理干净，去掉灰尘、油垢等。如铁心松弛和两侧压圈不紧，可用两块钢板制成的圆盘，圆盘外径略小于线圈端部的内径，中心开孔，穿一根双头螺栓将铁心两

端夹紧，固紧双头螺栓，使铁心恢复原形。槽齿歪斜，可用尖头钳修正。如果铁心中间松弛，可在松弛部分打入硬质绝缘材料(例如：钢纸，钢板纸)。凡是后来挤紧的铁心部分，都应涂刷沥青油漆(462号漆)。如果硅钢片上有毛刺和机械损伤，以致个别硅钢片接通，可用细锉把毛刺修去，把凹陷修平，并用汽油把硅钢片表面刷净，涂上一层绝缘漆。如果铁心局部烧坏或熔毁(主要是齿部)，如损坏表面不大，没有蔓延到铁心深处，则可用凿子把熔毁部分的铁心凿去，再用细锉和刮刀除去毛刺，清除异物。

7. 绕线转子电动机滑环、电刷部分故障的修理

绕线转子式电动机往往由于电刷不良、电刷规格不合或其他原因，在运行时产生火花使滑环表面灼焦成斑点，或粗糙不平，有时由于电刷过硬或炭刷弹簧压力太大等原因而磨损滑环，使滑环枢失圆或滑环表面高低不平。发生这种情况时可把转子放到车床上去把滑环表面车光，纠正偏心；车速可在400～600转/分左右，进刀量在0.20毫米左右。车削后再用0或00号金刚砂把滑环表面磨光。

炭刷由于工作面磨损而与滑环间不吻合，将造成滑环、刷架和刷握处发热，这时可用00号金刚砂布放在滑环枢上，然后把电刷放到滑环枢上的金刚砂布上，顺着滑环旋转的方向拉动金刚砂布来回摩擦、一直研磨到电刷与滑环吻合为止。

刷握内有异物或烧损，使电刷不能在刷握内自由活动，或电刷与刷握之间无间隙，可用砂布把刷握内打磨干净，使电刷与刷握之间保持约15～20毫米的间隙。

电刷压力过小或过大，或各个电刷压力不均等，应调整刷握上的弹簧压力，如弹簧因受热而退火，就应更换弹簧。

第三节　轴承的维护和修理

在电动机的故障中，轴承的故障是经常碰到的。轴承损坏时电动机的转子将与定子铁心相擦，进而发热破坏绕组绝缘，所以必须注意轴承的保养，一有故障应及时修理。

1．电动机常用的轴承

应用在电动机上的轴承有滚动轴承和滑动轴承，近年生

表 6-2　J、JO、JQ 和 JQO 系列采用滚动轴承的型号

机座号	同步转速为 3000 转/分		同步转速为 1500 转/分	
	轴伸端轴承	非轴伸端轴承	轴伸端轴承	非轴伸端轴承
3	304	304	304	304
4	306	306	306	306
5	308	308	308	308
6	308	308	310	310
7	310	310	2312	312
8	312	312	2314	314
9	314	314	2317	2317

表 6-3　J_2 和 JO_2 系列采用滚动轴承的型号

机座号	同步转速为 3000 转/分		同步转速为 1500 转/分	
	轴伸端轴承	非轴伸端轴承	轴伸端轴承	非轴伸端轴承
1	204	204	204	204
2	305	305	305	305
3	306	306	306	306
4	308	308	308	308
5	309	309	309	309
6	309	309	2309	309
7	311	311	2311	311
8	314	314	2314	314
9	317	317	2317	317

产的电机大多用滚动轴承。

表 6-2 和表 6-3 列示常用异步电动机中滚动轴承的型号。

滑动轴承(套筒轴承)在早年生产的电动机和大型电机上较多使用。在运转中轴颈和轴承的接触面相对滑动摩擦，所以在缺油等情况下轴承将严重磨损。一般小型电动机直接用铜料制成圆筒形的轴承；中大型电动机中多数采用所谓分解式轴承，即两片轴瓦；轴瓦是用耐摩、导热性大、摩阻小的材料制成，按不同的转速和不同的电动机容量，采用不同的轴瓦材料，下面介绍几种轴瓦材料。

(1) 灰铸铁　耐摩性及硬度很好，但不适用于高速电动机，一般用于六极以下的电动机。

(2) 青铜　耐摩性较好，常用于轴颈直径小于 100 毫米的中小型电机中。

(3) 青铜轴瓦加浇硬铅　用硬铅浇在轴瓦内，它的性能很适于摩擦，不伤轴颈，遇到缺油而过热时硬铅慢慢熔化，但仍不妨碍运转，不会使轴颈受损伤，而且浇铅换修方便，一般电动机上都采用。

(4) 铸铁或铸钢轴瓦加浇硬铅　性能同上。

(5) 塑料　适用于小型低速电动机，温度不能超过 80°C，容易胀缩。

2. 滚珠轴承的检查

(1) 电动机运行中的检查　在电动机运行中，应仔细察听轴承部分有无异常的杂噪声，例如“格啦”、“格擦”等异声。为了察听轴承有无故障，可以用旋凿如图 6-9 所示抵在电动机的轴承外盖上，仔细倾听运转声音；发现有异声，就说明有故障。

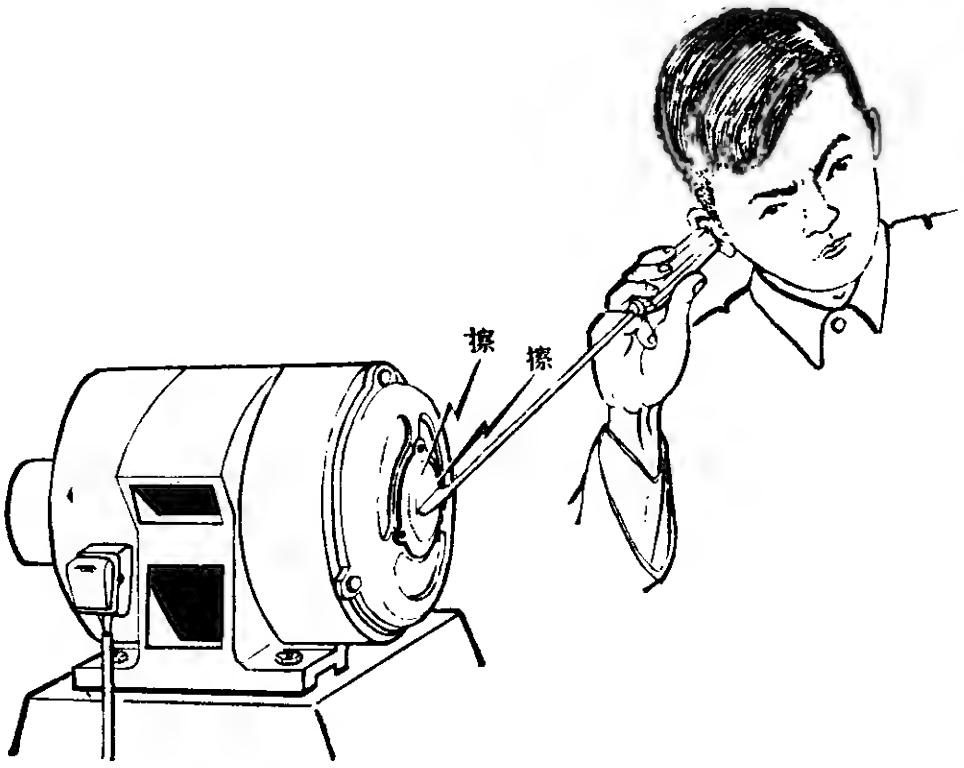


图 6-9　听察轴承故障

(2) 轴承发热的检查　在电动机运行中，应注意轴承温度，可以用水银温度计或酒精温度计来测量，如超过表 6-4 的允许值，则轴承部分有故障。

表 6-4　轴承温度

轴　　承	环境温度	允许温度
滚珠轴承	35°C	60°C
滑动轴承	35°C	45°C

造成轴承发热的原因很多，例如轴承内外圈碎裂、锈蚀，滚珠碎裂、松动；轴承内润滑油缺少或太多；轴承外盖的内孔与转轴相擦或轴承外盖压住轴承太紧等等。

(3) 轴承拆卸后的检查　轴承拆下后，放到汽油或火油等去污剂内洗净轴承的旧润滑油，然后检查轴承。完好的轴

承，加工面平滑清洁，没有任何划痕、裂纹或锈迹；内外轴承环没有裂缝；滚动体在保持器内滚动轻快，灵活，均匀，没有显著阻滞等现象。用塞尺检查轴承的磨损情况，不应超过表 6-5 的许可值。

表 6-5　滚动轴承的磨损许可值　　(毫米)

轴承内径	最大磨损
20～30	0.1
35～50	0.2
55～80	0.2
85～120	0.3～0.4
130～150	0.4～0.5

3. 滑动轴承的检查

用塞尺测量轴颈与衬套间的公差（间隙），见图 6-10 所示，如超过表 6-6 的规定，就需要修理了。

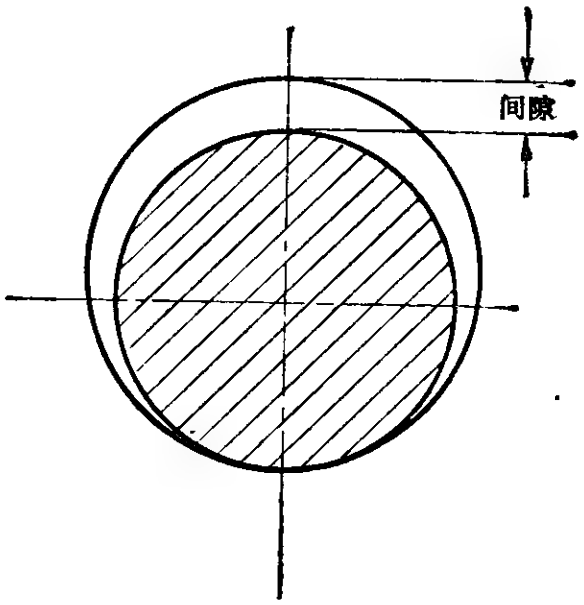


图 6-10　滑动轴承与轴颈间的间隙

表 6-6　滑动轴承与轴颈间的间隙　　(毫米)

转　轴　直　径	1000 转/分以下	1000 转/分以上
18～30	0.1	0.12
31～50	0.125	0.16
51～80	0.14	0.18
81～120	0.16	0.22
121～180	0.2	0.30
181～260	0.24	0.40

转子有一定的轴向游隙(即轴向的位移)，其值按轴颈的直径大小而稍有不同，从转子的中心位置量到两端，一般 5 千瓦的电动机不大于 1.5 毫米，30 千瓦内不大于 3 毫米；两端的游隙值相等。表 6-7 列示不同容量电动机的最大允许游隙值：

表 6-7　用滑动轴承的电动机转子的最大允许游隙

马　力 (HP)	游　隙 (毫米)	马　力 (HP)	游　隙 (毫米)
0.5～2	1～1.5	30～75	3.5～4
2～5	1.5～2.5	75～150	4～5
5～15	2.5～3	150～160	5～6
15～30	3～3.5		

4. 滚珠轴承的拆卸和安装

拆卸滚珠轴承(或滚子轴承)时必须注意拆卸的方法，以免把没有损坏还可使用的轴承拆坏，下面介绍几种拆卸的方法。

(1) 用拉令(拉马)拆卸　如图 6-11 所示，把拉令的脚放在轴承的内圈上，不能放在轴承外圈上，否则要拉坏轴承，拉令的丝杠的顶点要对准轴的中心，拉令的杠杆要保持平行，不能歪斜(发现歪斜要及时纠正)，手柄用力要均匀，手柄旋转要慢。

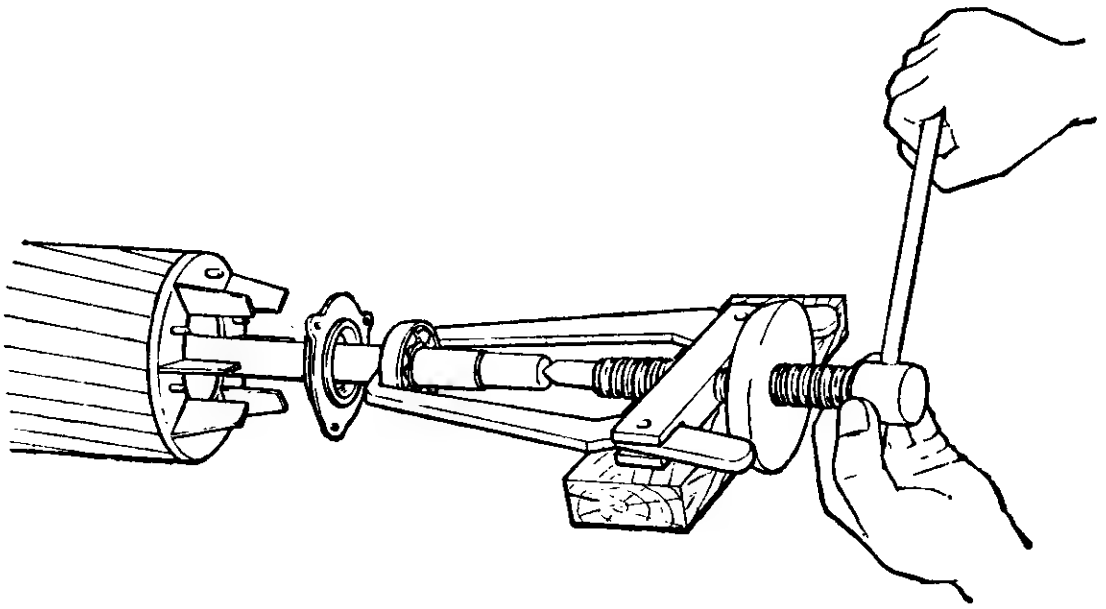


图 6-11　用拉令拆卸滚动轴承

(2) 用金属棒拆卸　在没有拉令，或不适用拉令的情况下，可用金属棒(一般使用铜棒)放在轴承的内圈上，用锤头敲打金属棒，把轴承敲出，如图 6-12 所示，切勿用锤头直接敲打轴承，直接敲打会把轴承敲坏。敲时要注意轴承内圈的一周受力要均匀，可在相对两侧轮流敲，不可偏敲一边，用力也不宜过猛。

(3) 放在圆筒上拆卸　如图 6-13 所示，在轴承的内圈下面用两块铁板搁在一只圆筒上面（圆筒的内径略大于转子的外径)，然后在轴端面上垫放一块铅块或铜块，用锤头敲打(不允许直接用锤头敲打轴端面，不然会造成轴变形)。敲时着力

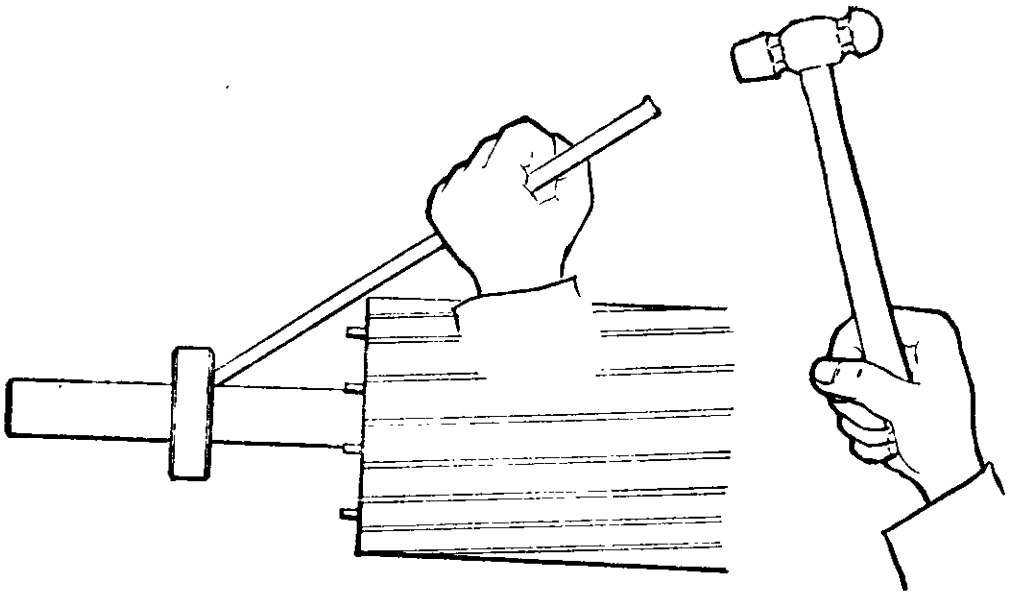


图 6-12　用金属棒敲打拆卸滚动轴承

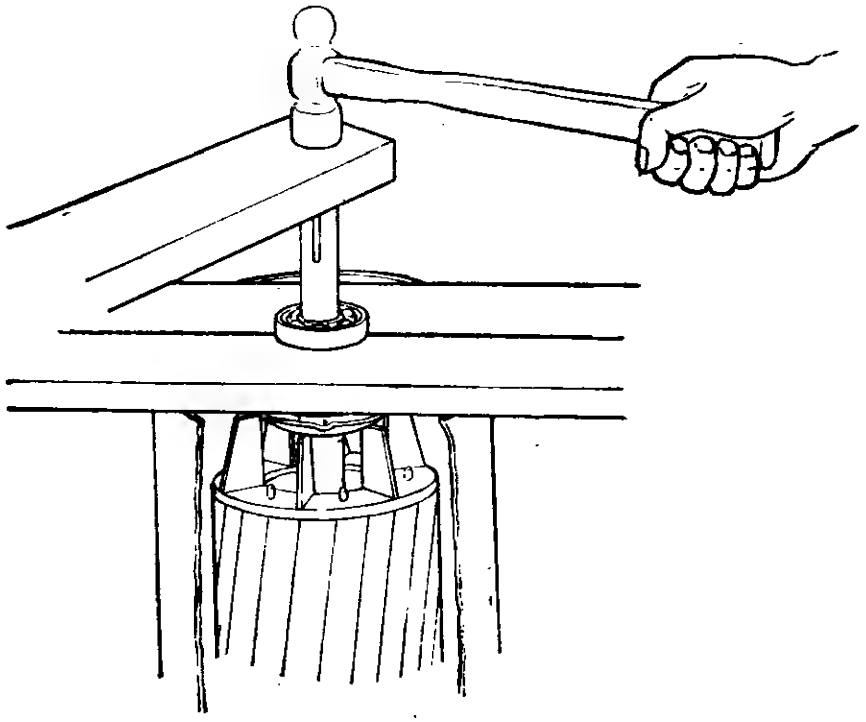


图 6-13　搁在圆筒上拆卸轴承

点应对准轴的中心，用力不可偏歪，也不宜过猛。圆筒内要放一些柔软的东西，如回丝等，以防轴承脱下时转子和转轴跌坏。当敲到轴承逐渐松动时，用力应减弱。如备有压床，就可放到压床上把轴承压卸下来。

(4) 用加热法拆卸　轴承因装配公差过紧或轴承氧化等原因，采用上述方法不能拆卸时，可将轴承内圈加热使其膨胀而松脱下来。在加热前，先用湿布包好转轴，以防止热量发散，然后用机器油加热至100℃左右，淋浇在轴承的内圈上，趁热即用上述拆卸方法拆卸。

(5) 轴承在端盖内的拆卸　有时轴承外圈与电机端盖内孔装配较紧，因而在拆卸电机时轴承留在端盖轴承孔内。拆卸方法如图6-14所示，把端盖止口面向上平稳地搁在两块铁板上(注意不能搁住轴承)，然后用一段直径略小于轴承外径的金属棒放在轴承外圈上，用锤头敲金属棒，就可将轴承敲出。

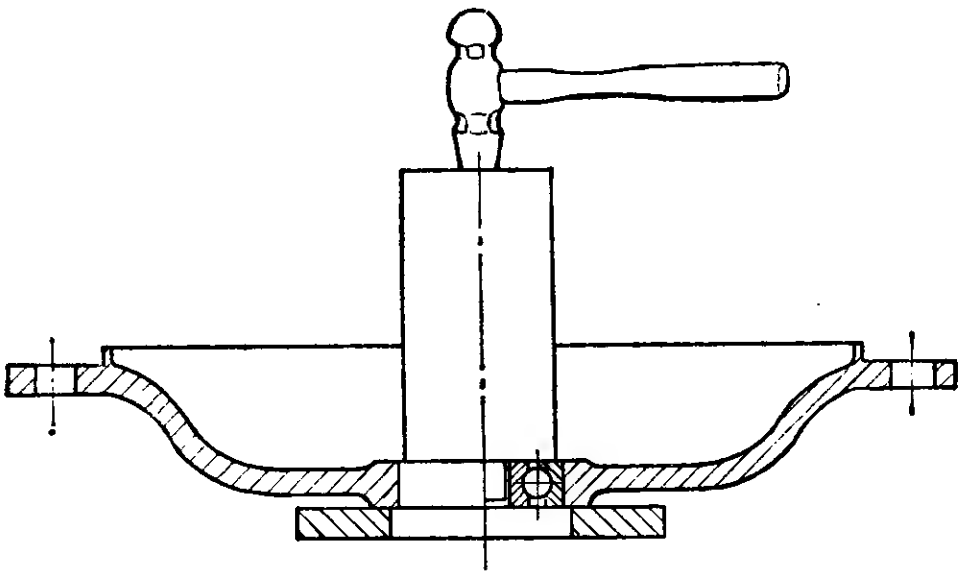


图6-14　拆卸端盖孔内的轴承

(6) 滚珠轴承的安装　轴承安装前，应将原有的润滑脂(不论新旧)洗净，干燥后按照规定重新加进纯净的新润滑脂。

轴承如果没有洗净或润滑脂内有杂质、水分，那末轴承很快就会损坏。

滚珠轴承的一般装法是先把轴承装到轴颈上。先把轴承套到轴上，用一段铁管，内径略大于轴颈的直径，外径略小于轴承内圈的外径，把铁管的一端顶在轴承内圈上，用锤敲打铁管另一端，这样把轴承敲进去。敲时要注意轴承不可歪斜，用力要正对轴向，不可偏歪。最好是在压床上用压入法（以压力代替锤击）安装。

轴承也可以用加热法安装，将轴承浸入 90～100℃ 的油内，趁热套到轴上，冷后就固紧在轴上。轴承内圈应该很紧地固定在轴上，若有松动轴颈会被磨损。

在装润滑脂时应防止外界的灰尘、水、铁屑等异物落入润滑脂内；轴承内不应完全装满润滑脂，装满三分之二的空间即可，润滑脂过多过少都会引起轴承发热；润滑脂过多时将增大滚珠的磨阻力，引起轴承产生高热，并使润滑脂熔化而流入绕组，破坏绕组的绝缘。

常用电动机中的润滑脂及其性能见表 6-8 和表 6-9。

表 6-8　常用电动机润滑脂

电动机型式	JO 型	JO 型	J 型	湿热带用电机
工作温升 (℃)	70～90	160～200	110～130	150～200
润滑脂名称	钙基润滑脂	复合钙基润滑脂	钠基润滑脂	二硫化钼润滑脂

表 6-9　润滑脂的品种、代号、物理化学性质及适用场合

名称		代号	颜色	滴点(℃)不低于	针入度 150克 25℃ 1/10毫克	水分(%)不大于	游离碱不大于	游离酸毫克(KOH/克)	灰分(%)不大于	矿物油粘度 50℃(厘泊)	机械杂质(%)	适用场合
钠基润滑脂	1号	ZN-1	深黄色到暗褐色均匀油膏	130	230～270	0.50	0.20	无	4.00	17～43	—	在较高工作温度、清洁无水份的条件下，用于开启式电动机
	2号	ZN-2		150	180～220	0.50	0.20	无	4.50	27～53	—	
钙钠基润滑脂	1号	ZGN-1	由黄色到深棕色的均匀软膏	120	250～290	0.70	0.20	无	—	27～43	—	在较高工作温度，允许有水蒸汽的条件下，用于开启式、封闭式电动机
	2号	ZGN-2		135	200	0.70	0.20	无	—	27～43	—	
钙基润滑脂	1号	ZG-1	从淡黄色到暗褐色，在玻璃上涂抹1～2毫米厚的润滑脂层，在透光检查时均匀无块状物	75	310～350	1.50	0.20	—	—	37～53	0.30	用于一般工作温度、与水接触的封闭式电动机
	2号	ZG-2		80	260～300	2.00	0.20	—	—	17～33	0.40	
	3号	ZG-3		85	210～250	2.50	0.20	—	—	17～33	0.50	
	4号	ZG-4		90	160～200	3.00	0.20	—	—	37～53	0.60	
石墨钙基润滑脂		ZG-S	黑色均一的非纤维状油膏	80	—	2.00	—	—	—	—	—	—
钡基润滑脂3号		ZB-3	由黄褐色到暗褐色软膏	150	200～260	无	—	—	—	27～43	—	
复合钙基润滑脂	1号	ZFG-1	淡黄色至暗褐色光滑透明油膏	180	310～350	0.10	0.20	0.40	—	17～33	—	用于高温有严重水份场合的封闭式电动机
	2号	ZFG-2		200	260～300	0.10	0.20	0.40	—	17～33	—	
	3号	ZFG-3		220	210～250	0.10	0.20	0.40	—	17～43	—	
	4号	ZFG-4		240	160～200	0.10	0.20	0.40	—	17～43	—	
铝基润滑脂	2号	ZU-2	由淡黄色到暗褐色的光滑透明油膏	75	230～280	无	—	—	—	—	—	用于高温工作条件及严重水份的场合，特别适用于湿热带型电动机

5. 滑动轴承(套筒轴承)的拆卸

拆卸前应先把端盖油箱内的机油倒出，仔细检查套筒轴承外面的固紧螺丝，把它松脱下来，然后把端盖的止口面向上平放(参见图 6-14 拆滚动轴承)，有些套筒轴承突缘在端盖内侧，止口面就得向下，但端盖下面须垫套管，如图 6-15 所示，注意要把套筒轴承油环槽内的油环放到套筒轴承的外面，不然会折断油环或卡住套筒轴承；然后用钢棒或铜棒顶住套筒轴承的内圈，用锤头把轴承敲出。不准用粗糙的铁棒敲打套筒轴承。

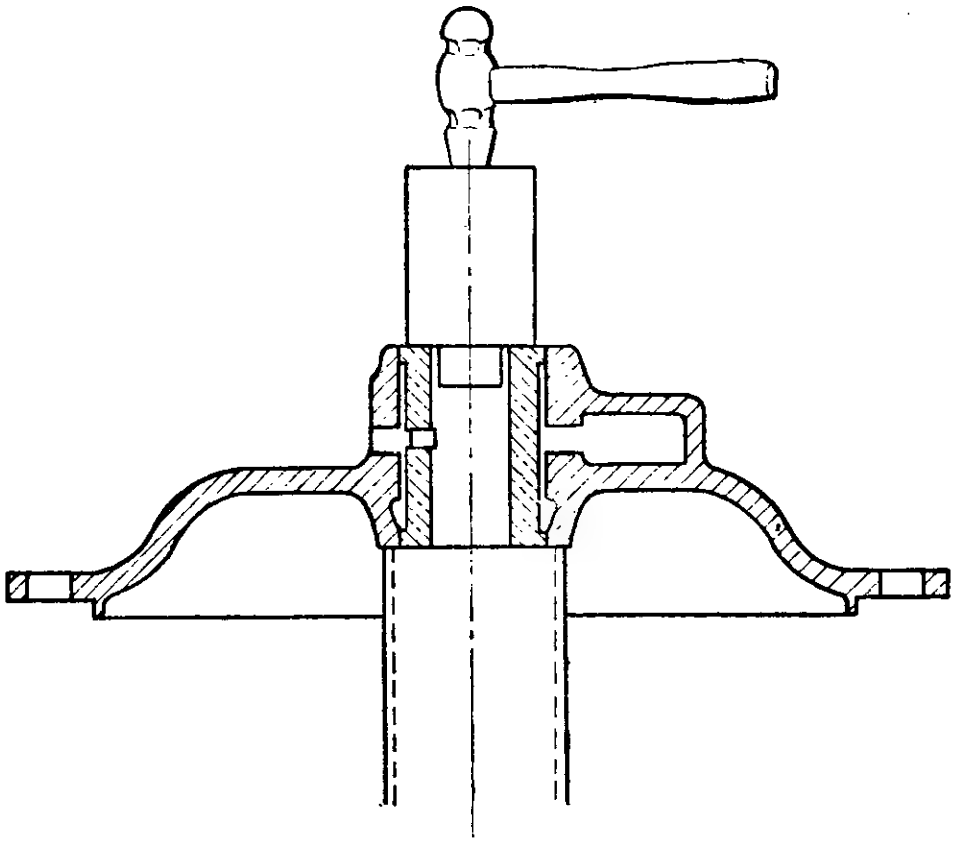


图 6-15　敲出套筒轴承

6. 滚珠轴承的修理

滚珠轴承的加工面上如有锈迹，可用 00 号砂布擦清后再放在汽油中洗净；若有较深的裂纹或内、外圈碎裂，就只得更

换新轴承。

轴承一般不会所有零件都损坏，因此可以把几只同型号的轴承拆开，把它们的完好零件拼凑装成一只轴承，仍可正常使用。滚珠缺少或破损，亦可重新配上。

有些用于高速的轴承，若磨损不很严重，可以换用在低速上。

若发现轴承外盖压住轴承太紧，可能是轴承外盖的止口太长，可以改正；如果轴承盖的内孔与轴颈相擦，可能是轴承盖止口松动，或不同心，应加以修正。

7. 滑动(套筒)轴承的修理

套筒轴承间隙过大时就需要更换，但一般可浇铅修复后继续使用，即在轴承的磨损的内表面上浇一层铅，再镗成正确的孔径。

轴承在浇铅前，要先在轴承内孔表面凿出或车出截面为燕尾形的槽子(沿圆周和沿轴向都要开槽，槽形不拘)，目的是使浇上的铅与轴承体能牢固结合而不致分离。浇铅之前最好先在轴承内表面挂锡，并趁锡尚未完全冷凝前立即浇铅，使能更好地结合。挂锡前，先在挂锡表面抹一遍盐酸或硫酸，再用热水冲洗晾干；然后用喷灯将轴承加热至250～270℃(焊锡熔化温度)，涂上一层氯化锌溶液(用锌片溶在盐酸中)，再撒上一层氯化铵粉，开始挂锡。挂好锡之后就可浇铅，浇铅时要在轴承孔内放一只直径略小于轴颈的泥芯，然后将熔融的铅液浇入泥芯与轴承孔壁之间的间隙中。一般铅层的厚度：

$$S=0.02d+2 \text{ [毫米]}$$

上式中 d 为轴颈直径，但厚度最大不应超过10毫米，亦不应小于表6-10的数值。

表 6-10　轴承浇铅最小厚度与轴径的关系　（毫米）

轴颈直径 d	20～50	50～80	80～120	125～150	150～200
S'（最小值）	2.5	3	3.5	4	5

青铜或铸钢轴承上面浇铅时，最小厚度只要表 6-10 中数值的一半就够了，而且也不必车出燕尾形槽子，但仍应镀上一层锡，以免氧化。

铸钢轴瓦连同浇上的铅厚度 $=0.09\,d+9$ [毫米]

青铜轴瓦连同浇上的铅厚度 $=0.08\,d+8$ [毫米]

套筒或轴瓦浇好铅之后，还必须镗内孔，要使轴承的内孔比轴颈的外径稍大些，使润滑油能够进入轴承与轴颈之间的间隙中，也就是说轴颈不是直接与轴承（套筒或轴瓦）内壁接触而是隔着一层油膜。轴颈与轴承孔之间的差（空隙）用下面的经验公式计算：

$$S=d_1-d=(0.0015\sim0.0025)\sqrt[3]{d}\ \text{[毫米]}$$

式中：S——轴径和轴承孔径的差（空隙）；

d——轴径；

d_1——轴承孔径。

轴承内孔镗好后须在孔壁上开油槽，使润滑油能流布到轴颈的周围。油槽可以在车床上车出来或者用手工凿出来。油槽的形状有螺纹、斜纹、曲纹等多种；开油槽时应注意：① 油槽不能开在轴承内壁受轴压力的部分；② 油槽不应开到轴承的边端，以免漏油。油槽的尺寸与轴的直径有关，一般可以参照表 6-11 的规定。

如果滑动轴承游隙的尺寸超过表 6-7 的规定，可用无缝钢管或铜管制作一个垫圈垫入。如果轴承内的油环断裂，可用钢管、铸铁管或黄铜管车割一个油环，油环的断面最好是梯

表 6-11　油槽尺寸　　(毫米)

轴颈直径 d	50	100	200	300
油槽宽度 b	3～4	5	7	8
油槽深度 t	$0.5\sim0.8\times b$			

形或半圆形。

第四节　潜水电泵的修理

潜水电泵电机部分的故障和检修方法，和普通三相异步电动机的检修大致相同，绕组展开图见第二章图 2-49(a)。由于潜水电泵是在水下工作，因此必须保证有良好的密封，密封部件若有损坏，就将因电机部分进水而烧坏定子绕组。所以密封部件的检修和修理质量是潜水电泵检修的关键问题。

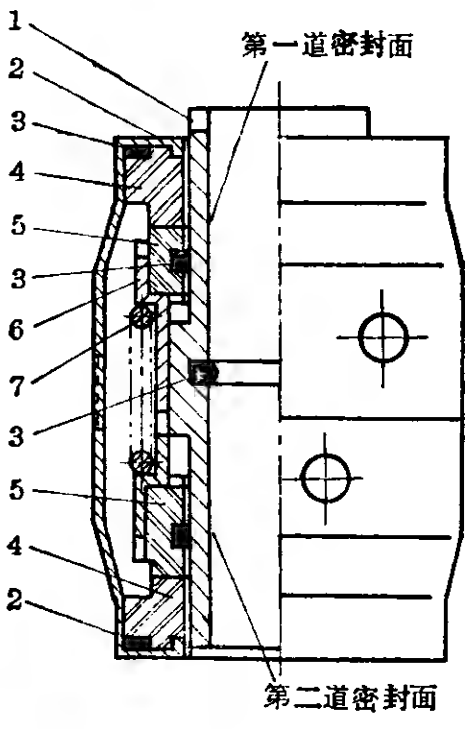


图 6-16　QY 型潜水电泵的整体式密封盒

潜水电泵的密封件有两类：① 潜水电泵各零件（主要是电机部分）的止口配合处均用一般的 O 形橡胶封环密封，属于静密封；② 在电机的出轴带动水泵叶轮转动部分——轴端面机械密封，采用整体式密封盒（双端面轴机械密封）结构，属于动密封，这是潜水电泵的关键密封部件。整体式密封盒的结构如图 6-16 所示，其中 *2* 为盒体，*3* 为 O 形橡胶封环，支架 *6* 和轴套 *1* 带动两块动磨块 *5* 随轴一起转动，

在弹簧 7 的压力下分别与两块静磨块 4 组成两道密封面，以防止水从出轴处漏进电机内部。因此，每一对动、静磨块之间的摩擦（密封）面要求有很高的光洁度和平整度，以及装配后与轴的垂直度。摩擦面不允许有微孔或裂纹。

磨块材料硬度愈高，就愈耐磨，现在采用的磨块材料第一道是铸锡青铜 14 对不锈钢 9Cr18，第二道是铸铁 HT18-36 对塑料 P_3，使用寿命规定为 1000 小时。

磨块的加工尺寸见图 6-17，经机械加工后进行研磨，研磨用的平板材料是球墨铸铁，也可用铸铁代替。平板必须光

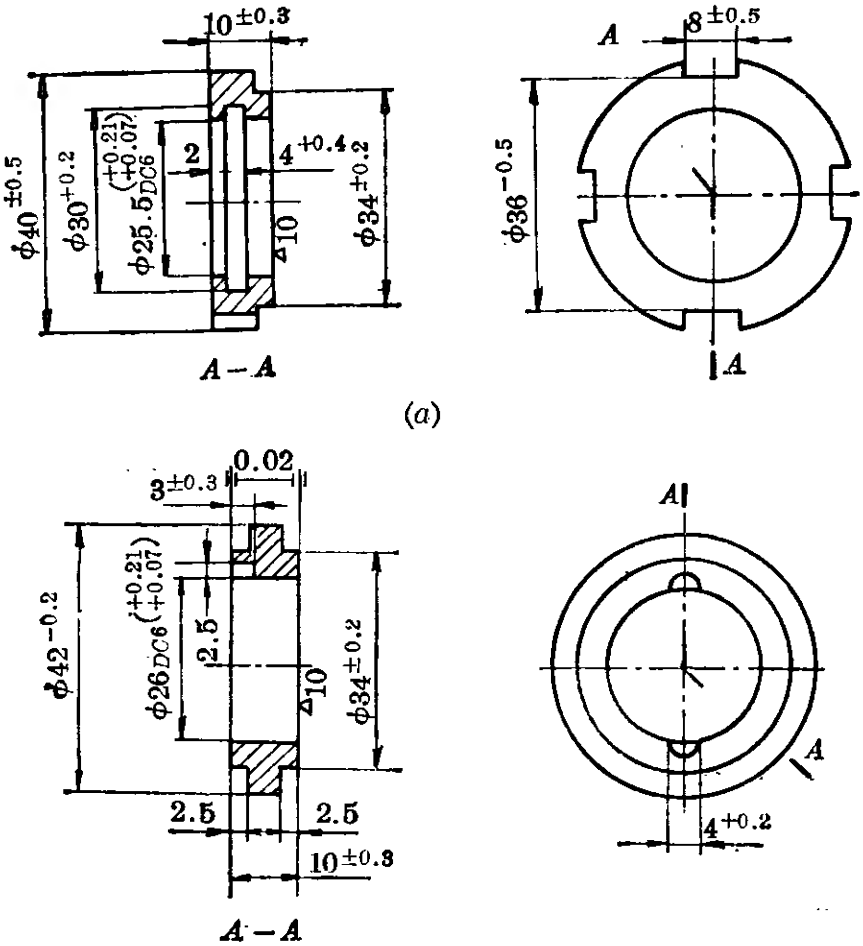


图 6-17　整体式密封盒中的磨块

(a) 静磨块；　(b) 动磨块

滑、平整，应经常用400号金刚砂(碳化硅)加上10号或5号机械油调和后研磨修整(可用平板对平板对磨等方法)。

磨块研磨用的材料见表6-12。

表6-12 磨块研磨材料

磨块材料	粗磨	精磨 (抛光)
不锈钢 9Cr18	800号金刚砂	M2号白刚玉微粉 40%
铸锡青铜 14	+锭子油	汽油 40%
铸铁 HT 18-36	(5号或10号	油酸 10%
塑料 P_3	机械油)	甲苯 10%

注：(1) 不锈钢9Cr18先热处理至硬度达HRC 55～60，而后平面经粗磨削和去磁，再进行研磨。

(2) 塑料P_3系特殊配方，按重量比为：酚醛树脂100，石棉绒100，六次甲基四胺13，油酸2.4，聚氯乙烯40。

(3) 铸锡青铜14的抛光用绿油(303抛光膏)。

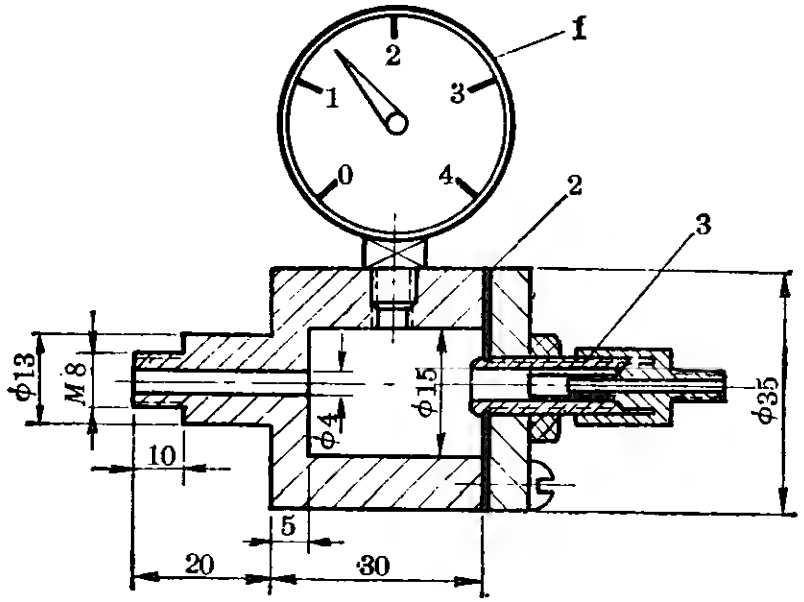
研磨工艺大致如下：①粗磨，30～40分钟，一般用机械方法加工；②用火油、汽油或甲苯等清洗；③精磨，2～3分钟，并用揩镜纸揩净包好；④检验，在钠光灯下用平晶检查光带，其弯曲度不超过两条光带宽度。

现在正在采用陶瓷（氧化铝加金属粉填料）对不锈钢9Cr18和陶瓷对陶瓷的磨块作为第一道密封。对于陶瓷磨块，粗磨用90号至100号金刚砂，精磨用500号碳化硼，抛光用W3号古膏，并加适量甘油。

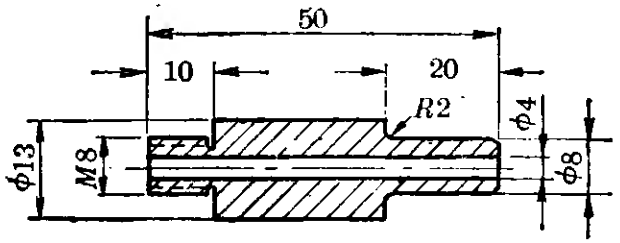
潜水电泵经修理或更换整体式密封盒后，须经2公斤/平方厘米的气压试验5分钟，检查各零件止口配合面处的O形橡胶封环和整体式密封盒的两道密封面是否有漏气现象。如果漏气，必须重装或更换零件。检查良好后分别在上盖内加入5号或10号机械油或缝纫机油等，在下盖内加入5号或

10 号机械油或 25 号变压器油等。

气压试验用的接头和小接头可参照图 6-18 制作。试验时将气压接头的一端旋入上盖加油螺孔内，另一端接上自行车的打气筒；将小接头的一端旋入下盖加油螺孔内，另一端套上一根橡皮管或塑料管，并浸入盛有水的容器内。打气时水中不应有气泡冒出；如有气泡，说明密封盒的第二道密封漏气。检验第一道密封是否漏气，可在电机出轴处加几滴机械油试之。



(a)



(b)

图 6-18　气压试验用的气压接头(a)和小接头(b)

1—4 公斤压力表；　*2*—1～2 毫米厚橡皮垫圈；
3—自行车内胎气门子

JQB 型潜水电泵可以改装成充油式，方法如下：①去掉原用的定子屏蔽套，在电机的定、转子间注满 5 号机械油或 25 号变压器油，这时定子绕组电流约增大 1 安；②将出线盒电缆引出线接头处加以密封，或用其他方法如用环氧树脂将电缆四根芯线处密封(参阅图 6-19)；③定子绕组照如下数据绕制(绕线木模参照 QY 型，见第四章图 4-25)：绕组形式——单层同心链形；定子槽数——24；节距——1—12，2—11；极数——2；并联路数——1；接法——Y；线径——ϕ 0.96；每槽线数——55。

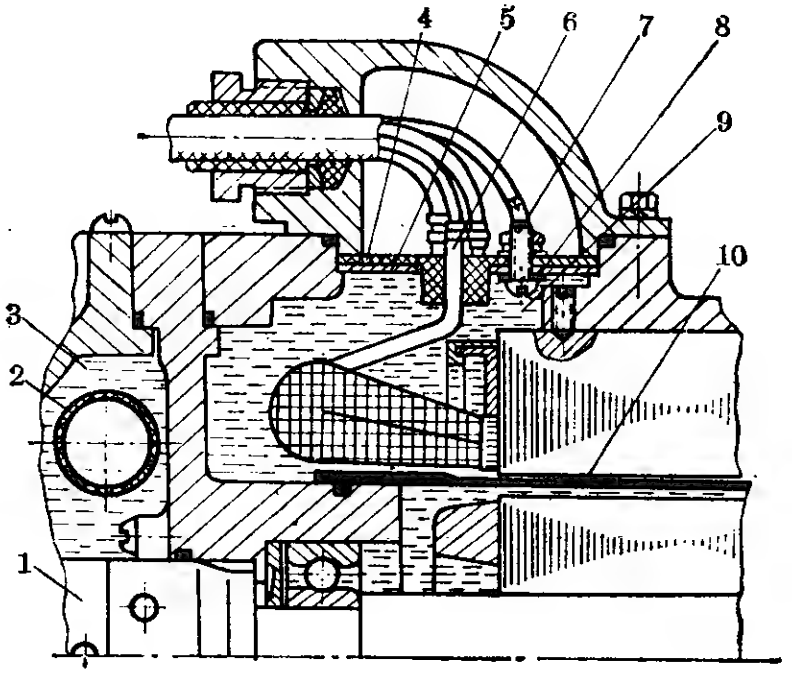


图 6-19　JQB 型潜水电泵改成充油式

1—整体式密封盒；　*2*—扩张件；　*3*—润滑油(10 号机油或缝纫机油)；　*4*—橡胶封口塞；　*5*—封口板(钢)；　*6*—引出线；　*7*—接地螺钉 M6；　*8*—橡胶垫圈；　*9*—冷却油(5 号机油或变压器油)；　*10*—原用的定子屏蔽套(拆去不用)

第七章　三相异步电动机的试验

伟大领袖毛主席指出："**一切产品，不但求数量多，而且求质量好，耐穿耐用。**"对一台已经修理好的电动机，要求必须质量高，性能良好。为了保证修理的质量，对修理好的电动机应进行一些必要的试验，来检验电动机的质量是否符合于修理的要求。试验大致包括以下几个项目：① 电动机的绝缘试验；② 绕组冷态直流电阻的测定；③ 空载运转试验；④ 温升试验；⑤ 超速试验。

第一节　试验前的准备

被试验的电动机在试验开始前应进行一般性的检查，检查电动机的装配质量；各部分的紧固螺栓是否旋紧；引出线的标记是否正确；转子转动是否灵活；如果是用滑动轴承的，还须检查油箱内是否有油，油是否清洁，油量是否足够，油环转动是否灵活；对于滑环电动机还应检查电刷的装配情况：电刷在刷座中是否灵活，电刷与滑环的接触是否良好等。确认电动机的一般情况良好后才可进行试验（特别是通电试验）。

第二节　试验方法

1. 电动机的绝缘试验

电动机的绝缘是比较容易损坏的部分，如果绝缘不良，产生的后果是非常严重的，将会烧毁绕组，或造成电动机的机壳

带电，如接地不良，将会造成触电事故。所以经过修理的电动机和尚未使用的新电动机在使用之前都要经过严格的绝缘试验，以保证电动机的安全运行。绝缘试验包括 ①测量绝缘电阻；②绝缘耐压试验；③匝间绝缘强度试验。

(1) 测量绝缘电阻　应测试的绝缘电阻包括各相绕组对外壳的绝缘电阻、相与相之间的绝缘电阻。测量绝缘电阻一般使用兆欧表(摇电箱)，测量方法可参照第四章第一节。

交流三相异步电动机的绝缘电阻值不得小于0.5兆欧。绝缘电阻低于0.5兆欧的电动机不得通电运转和进行高压试验，必须先进行干燥处理。绝缘电阻的高低一般只能表示绕组的受潮程度；绝缘电阻高并不表示这台电动机的绝缘性能一定良好。绝缘老化，或绝缘虽受机械损伤但导线之间或导线与铁心之间还没有形成短路时，用兆欧表测量绝缘电阻值仍可能很高。这种故障可经耐压试验发现。

(2) 绝缘耐压试验　耐压试验是在相绕组与机壳间、相绕组与相绕组间，加上频率为50赫的高压交流电，试验绝缘能否经受一定的高压不被击穿。试验可采用如图7-1所示的线路，B_1 为调压器；B_2 为1:30升压变压器，可利用同样变比的电压互感器；电压表接在低压侧，可将表盘按变比标成高压刻度，以便利读数；B_3 供给指示灯电源。试验时，合上开关 K，电路接通，指示灯 ZD_2 (绿)亮，调节 B_1 使升压变压器次级得到所需要的高压：如绝缘不击穿，则过电流继电器 J_1 不动作；如绝缘击穿，则 J_1 动作，接通中间继电器 J_2，切断升压变压器初级回路，同时 J_2 的常开触点闭合接通指示灯 ZD_1 (红)作为告警，此时 J_2 由自保触点继续维持接通，以保证高压回路切断。

在耐压试验前，应先测量电动机的绝缘电阻，如绝缘电阻

低于 0.5 兆欧，不得进行耐压试验。

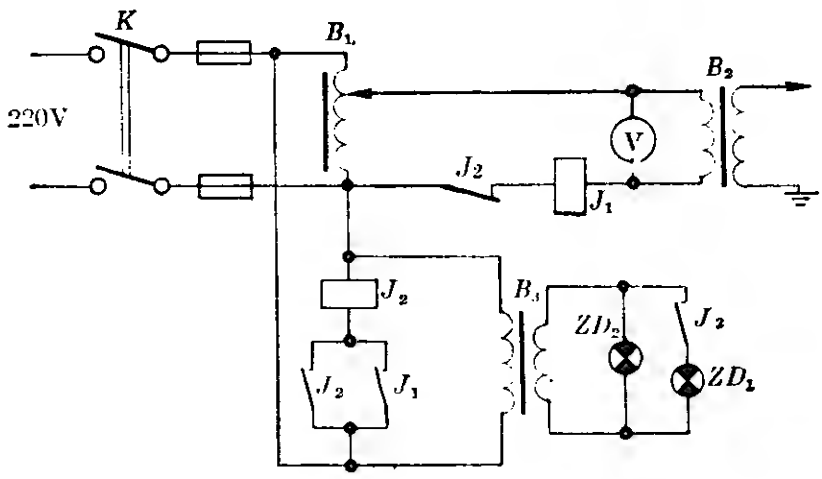


图 7-1　绝缘耐压试验的布置

在合上电源开关前，应将电压调在最低点，然后接通电源，调节至所需要的电压值；历时 1 分钟后将电压降低到原来电压的 1/3 以下，然后切断电源。如果绝缘被击穿，应仔细观察，击穿处会有电弧闪络。

耐压试验电压对于 500 伏以下的低压中小型电动机绕组应控制在如下的范围：绕组大修（换线）以后，试验电压为两倍额定电压再加 1000 伏。未换线的绕组（小修）试验电压可低一些，约为三倍的额定电压。进行耐压试验时必须注意安全，防止触电事故。

(3) 匝间绝缘强度试验　匝间绝缘强度试验应在电动机空载试验以后进行；此项试验仅对绕组大修（换绕组）的电动机。试验时通以较额定电压高 30% 的三相交流电源，持续运转 1 分钟。对滑环式电动机进行匝间耐压试验时应将转子绕组开路，使转子不能转动，这时加于定子绕组的试验电压高于额定电压百分之三十，转子绕组中所感应的电压也高于额定

值百分之三十，这样就同时对转子绕组进行了匝间绝缘强度试验。试验电压可由电压调整器、变压器或自耦式变压器得到。

2. 绕组冷态直流电阻的测定

测量绕组的冷态直流电阻，视电动机的功率大小，分为高电阻与低电阻：电阻在10Ω以上为高电阻，10Ω以下为低电阻。高电阻可用万用表测量，或通以直流电，测出电流和电压再按欧姆定律计算直流电阻。测量低电阻必须用精密度较高的电桥。应测量三次，取其平均值。测量时接触应该良好，接触电阻对低电阻的测量影响甚大。各相的电阻应用同一仪表测量。测量方法可参照第四章第一节。

测量电阻时应测量绕组的温度，然后再按下式换算为15℃时的标准电阻值：

$$R_{15}=\frac{R_t}{1+\alpha(t+15)}$$

式中：R_{15}——绕组在15℃时的电阻；

R_t——绕组在t℃（测量时的温度）时的电阻；

α——导线的温度系数，铜：$\alpha=0.004$；

铝：$\alpha=0.00385$；

t——测量电阻时的绕组温度。

3. 空载运转试验

将电动机通以额定频率、额定电压且三相平衡的交流电，使电动机不带负载运转，测量三相的电压和三相的线电流，三相电流应该平衡。如三相电压不平衡，则三相电流也将有出入。空载试验需进行一小时以上，在试验过程中应注意电流的变化，如三相电流不平衡，则可能是三相绕组的匝数不相等，或绕组匝间短路所引起。如果三相电流的不平衡是由于

三相绕组的匝数不相等而引起，则在试验过程中电流不会升高。如果是绕组匝间短路，则在试验过程中电流会不断升高直至绕组烧毁。因此在空载试验开始后，如果发现某一相（或两相）电流不稳定，则应停止试验，检查绕组，往往短路的一相较其他两相为热。在空载试验中应检查电动机的运转情况，是否有杂声、振动，检查轴承的发热程度、铁心的发热程度等。

三相的空载电流不平衡应不超过百分之五（实际上电压不可能绝对平衡）。空载电流值应符合于表7-1的范围，如电流超出表中范围应适当增加线圈的匝数，反之应适当减少线圈的匝数。

表7-1　三相异步电动机的满载电流和空载电流

功率(千瓦)	满载电流（安）				空载电流（安）			
	2极	4极	6极	8极	2极	4极	6极	8极
0.35	0.84	0.97	1.15		0.404	0.67	0.83	
0.6	1.36	1.51	1.83	1.77	0.67	0.86	1.24	1.25
1	2.22	2.33	2.62	2.78	0.96	1.2	1.68	1.8
1.7	3.56	3.68	4.25	4.28	1.51	1.77	2.49	2.4
2.8	5.64	5.9	6.54	6.85	1.85	2.62	3.79	3.82
4.5	8.9	9.38	9.97	10.4	3.12	4.08	5.25	5.46
7	13.6	14.1	15.1	15.9	4.46	5.45	7.06	8.14
10	18.9	19.6	20.8	21.7	6.25	7.28	8.26	8.6
14	27.1	27.1	29.1	29.5	8.24	9.63	13.1	11.4
20	37.5	38.2	39.6	40.7	9.8	11.8	15.4	14.5
28	52.9	52.4	54.5	56.4	14.7	15.1	17.7	20
40	73.2	75.3	76		20.5	19.9	23.4	
55	101	102			23.8	27.9		
75	134				32.2			

注：2.8千瓦以下误差15%；4.5千瓦以上误差10%；28千瓦以上误差5%。

4. 温升试验

电动机的温升就是电动机在额定运行情况下电动机各部分温度达到稳定(即温度不再上升)时电动机的温度高于环境温度的度数。所以电动机的温升须在电动机满载的情况下测定,从开始运转至电动机温度稳定需要数小时。

为了进行满载试验,电动机应带上额定负载,一般用发电机由电动机拖动作为负载,调节发电机的负载电阻,就能调节电动机的负载。测量温升的方法一般有温度计法和电阻法;为了节省电能消耗,也可在空载下测量。

(1) 温度计法　此法就是用温度计直接测量电动机的温升。起动电动机,调节负载使电动机的线电流等于额定电流,这时电动机就处于额定运行的状态。用温度计测量电动机各部分温度;电动机在运转中温度不断上升,数小时之后温度达到某一稳定数值而不再上升,这个温度与环境温度之差就是电动机的温升。但这里要注意,由于测得的都是表面温度,比绕组内部温度最高点大致低 10℃, 因此应把测得的温度加上 10℃,才得出电动机的实际温升。

测量温升的温度计应使用酒精温度计,水银温度计不宜使用,因为电动机中有漏磁场,在这个交变磁场的作用下水银内将产生涡流而发热,影响测量的准确性。在测量线圈温度时,应使温度计的玻璃球紧贴线圈,为使接触紧密,可用锡箔紧裹温度计的玻璃球,再紧贴在线圈上,外面再包以棉絮并用纱带扎牢,以防止气流的影响。总之为了保证测量的准确,应排除一切能影响温度的因素。对于封闭式电动机,不可能用温度计直接贴在线圈上测量,可将温度计用锡箔裹住玻璃球塞在吊环孔中测量(四周用棉絮裹住)。

(2) 电阻法　此法是利用导体电阻随温度升高而增大的

原理，只要分别测出冷态和热态时的电阻，就可计算出平均温升。在试验开始前先测得线圈的相电阻为 R_1，记录这时线圈的温度为 t_1℃，然后起动电动机，使其在额定情况下运转，每隔一定时间（如半小时）测量电阻一次，至电阻不再增加（测得两次电阻值不变）时，记录热态时的相电阻为 R_2（测量必须在断电后半分钟内测量完毕）。线圈的温升为：

$$\Delta t=\frac{R_2-R_1}{R_1}(235+t_1)℃$$

以环境温度 t_0 为标准则线圈对环境温度的温升：

$$\theta=\frac{R_2-R_1}{R_1}(235+t_1)+t_1-t_0$$

测量电阻可以用电桥，或通以直流电源，量得电流和电压再计算出电阻。电阻法只能求取绕组的温升（绕组的平均温升），比绕组的最热点约低 5℃ 左右。

(3) *用空载法间接测定定子绕组的温升*　用电阻法直接测量绕组温升时，电动机应满载运转，需要一定的设备，且多消耗电能。对小型封闭式异步电动机，可先测出空载温升，然后再换算成满载温升。用此法只需作空载运转，不需加负载，操作简便，节省用电，测量结果也比较准确。

在试验开始前测量绕组的冷态电阻 R_1 和绕组的冷态温度 t_1。然后将电动机通电空载运转，每隔半小时测量一次周围环境温度和绕组的电阻，并记录空载电流。待两次测得的电阻不变时或变化甚微时即为热态的绕组电阻 R_2（测量必须在停电后半分钟内进行完毕）。然后按下式求出空载温升：

$$\theta_0=\frac{R_2-R_1}{R_1}(235+t_1)+t_1-t_0$$

式中：　t_1——试验开始前绕组温度；

t_0——试验时的环境温度，取最后三次的平均值。

再按下式换算成满载时的温升：

$$\theta=\left(\frac{1-\sqrt{1-4ac}}{2a}\right)\times\left(\frac{I}{I_0}\right)^2+\theta_0-\left(\frac{1-\sqrt{1-4ac}}{2a}\right)$$

式中：

$$a=\frac{6.75\times\left(\frac{I}{I_0}\right)}{\theta_0\times\left(\frac{I}{I_0}\right)^3+9\theta_0\times\left(\frac{I}{I_0}\right)+235+t_0-2\theta_0\times\left(\frac{I}{I_0}\right)^2}$$

$$c=\frac{1.15\times(235+t_0)\times\theta_0}{\theta_0\times\left(\frac{I}{I_0}\right)^3+9\theta_0\times\left(\frac{I}{I_0}\right)+235+t_0-2\theta_0\times\left(\frac{I}{I_0}\right)^2}$$

I——满载电流，取名牌电流；

I_0——空载电流，取最后三次的平均值。

三相异步电动机各部分在环境温度为 +40℃ 时的最大容许温升见表 7-2。

表 7-2　三相异步电动机的最大容许温升(环境温度为+40°C)

电动机的部分		绝缘等级									
		A 级		E 级		B 级		F 级		H 级	
		最大容许温升 (°C)									
		温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法	温度计法	电阻法
定子线圈		55	60	65	75	70	80	85	100	105	125
转子线圈	绕线式	55	60	65	75	70	80	85	100	105	125
	鼠笼式	—		—		—		—		—	
定子铁心		60		75		80		100		125	
滑环		60		70		80		90		100	
滑动轴承		40		40		40		40		40	
滚动轴承		55		55		55		55		55	

5. 超速试验

超速试验的目的在于考验转子各部分对于离心力的机械强度和轴承在超速时的机械强度，检验电动机的安装质量。超速试验时转速应提高到额定转速的120%，试验历时两分钟。试验时可以用辅助电动机来拖动被试电动机；亦可将被试电动机接上提高频率的电源。

附录一　J型三相异步电动机的技术数据

型号	额定功率(千瓦)	额定电压(伏)	满载时 转速(转/分)	满载时 电流(安)	满载时 效率(%)	满载时 功率因数 cosφ	定子 外径(毫米)	定子 内径(毫米)	定子 铁心长度(毫米)	定子 气隙长度(毫米)	定子 每槽线数	定子 并联支路数	定子 绕组型式	定子 线规 根数	定子 线规 直径(毫米)	定子 节距 1—x	定子 线重(公斤)	定、转子槽数
同步转速 3000 转/分 (2 极)																		
J31-2	1.0	220/380	2850	3.6/2.06	78.5	0.86	145	80	55	0.40	78	1	单层同心式	1	0.69	1—12 2—11	1.65	24/20
J32-2	1.7	220/380	2850	6.3/3.64	81.5	0.87	145	80	82	0.40	55	1	单层同心式	1	0.8	1—12 2—11	1.93 1.91	24/20
J41-2	2.8	220/380	2870	10/5.8	83.5	0.88	182	102	72	0.50	47	1	单层同心式	1	1.12	1—12 2—11	3.27	24/20
J42-2	4.5	220/380	2870	15.8/9.15	85	0.88	182	102	105	0.50	33	1	单层同心式	1	1.3	1—12 2—11	3.2	24/20
J51-2	7.0	220/380	2890	24/13.8	86	0.90	245	145	82	0.60	28	1	单层同心式	2	1.2	1—12 2—11	5.55	24/20
J52-2	10	220/380	2890	33.6/19.4	87	0.90	245	145	115	0.60	22	1	单层同心式	2	1.35	1—12 2—11	5.63	24/20
J61-2	14	220/380	2910	47/27.5	87.5	0.90	327	182	80	0.70	34	2	双层迭绕	2	1.25	1—13	9.8	36/28
J62-2	20	220/380	2910	66/38	88.3	0.91	327	182	105	0.70	26	2	双层迭绕	2	1.45	1—13	10.9	36/28

J71-2	28	220/380	2920	92/53	89	0.91	368	210	105	0.80	24	2	双层迭绕	1 2	1.45 1.35	1—13	6.3 11	36/28
J72-2	40	220/380	2920	129/74.5	89.6	0.91	368	210	135	0.80	18	2	双层迭绕	1 3	1.45 1.35	1—13	5 13.2	36/28
J81-2	55	220/380	2930	177/102	90.1	0.91	423	245	130	1.10	16	2	双层迭绕	3 2	1.56 1.45	1—13	17.5 10	36/28
J82-2	75	220/380	2930	239/138	90.6	0.91	423	245	180	1.10	12	2	双层迭绕	1 6	1.56 1.45	1—13	4.8 25	36/28

同步转速 1500 转/分（4 极）

J31-4	0.6	220/380	1420	2.8/1.6	74	0.76	145	90	84	0.25	108	1	单层链式	1	0.57	1—6	1.12	24/18
J32-4	1.0	220/380	1420	4.25/2.45	78.5	0.79	145	90	100	0.25	89	1	单层链式	1	0.69	1—6	1.34	24/18
J41-4	1.7	220/380	1430	6.7/3.9	81.5	0.82	182	110	80	0.27	52	1	单层交叉式	1	0.96	1/1—8	2.85	36/26
J42-4	2.8	220/380	1430	10.5/6.1	83.5	0.84	182	110	115	0.27	36	1	单层交叉式	1	1.2	2/1—9	3.5	36/26
J51-4	4.5	220/380	1440	16.4/9.5	85	0.85	245	155	90	0.40	31	1	单层交叉式	1	1.4	2/1—9	5.9	36/26
J52-4	7.0	220/380	1440	25/14.5	86	0.856	245	155	115	0.40	21	1	单层交叉式	1	1.56	2/1—9	3.95	36/26
J61-4	10	220/380	1450	34.4/19.9	86.8	0.88	327	210	80	0.60	50	2	双层迭绕	1	1.56	1—8	9.55	36/44
J62-4	14	220/380	1450	47.8/27.6	87.55	0.88	327	210	105	0.60	38	2	双层迭绕	2	1.25	1—8	10.1	36/44
J71-4	20	220/380	1450	67.5/39	88.5	0.88	368	230	105	0.60	34	2	双层迭绕	2	1.56	1—8	15.2	36/44
J72-4	28	220/380	1450	93/54	89.5	0.88	368	230	135	0.60	26	2	双层迭绕	3	1.45	1—8	16.3	36/44
J81-4	40	220/380	1460	133/77	89.5	0.89	423	280	130	0.70	18	2	双层迭绕	4	1.45	1—10	22.7	48/47
J82-4	55	220/380	1460	180/104.4	90.15	0.89	423	280	180	0.70	26	4	双层迭绕	2 1	1.35 1.45	1—10	16.6 9.3	48/47
J91-4	75	220/380	1460	246/142	90.6	0.89	493	327	160	0.90	20	4	双层迭绕	4	1.45	1—13	37.5	60/47
J92-4	100	220/380	1460	320/185	91	0.90	493	327	220	0.90	16	4	双层迭绕	3 2	1.56 1.35	1—13	29 14.5	60/47

（续表）

型号	额定功率（千瓦）	额定电压（伏）	满载时 转速（转/分）	满载时 电流（安）	满载时 效率（%）	满载时 功率因数 cosφ	定子 外径（毫米）	定子 内径（毫米）	定子 铁心长度（毫米）	定子 气隙长度（毫米）	定子 每槽线数	定子 并联支路数	定子 绕组型式	定子 线规 根数	定子 线规 直径（毫米）	定子 节距 1—x	定子 线重（公斤）	定、转子槽数
同步转速 1000 转/分（6 极）																		
J41-6	1.0	220/380	940	4.93/2.84	76.7	0.72	182	110	80	0.27	74	1	单层链式	1	0.86	1—6	2.6	36/26
J42-6	1.7	220/380	940	7.65/4.43	79.6	0.75	182	110	115	0.27	51	1	单层链式	1	1.08	1—6	3.2	36/26
J51-6	2.8	220/380	960	11.6/6.7	82	0.775	245	155	90	0.40	45	1	单层链式	1	1.25	1—6	4.6	36/44
J52-6	4.5	220/380	960	17.7/10.2	84	0.80	245	155	135	0.40	30	1	单层链式	1	1.56	1—6	5.7	36/44
J61-6	7	220/380	960	27/15.5	85.5	0.81	327	210	80	0.50	34	1	双层迭绕	2	1.35	1—6	8.3	36/44
J62-6	10	220/380	960	37/21.5	86.5	0.82	327	210	105	0.50	26	1	双层迭绕	2	1.56	1—6	9.3	36/44
J71-6	14	220/380	970	49.4/28.5	87	0.85	368	260	105	0.50	48	3	双层迭绕	1	1.56	1—8	14.3	54/58
J72-6	20	220/380	970	70/40.5	88	0.86	368	260	135	0.50	38	3	双层迭绕	2	1.25	1—8	15.9	54/58
J81-6	28	220/380	975	96/55.5	88.5	0.87	423	300	130	0.60	24	3	双层迭绕	1 1	1.45 1.35	1—11	9.9 8.5	72/58
J82-6	40	220/380	975	135/78	89.5	0.88	423	300	180	0.60	12	2	双层迭绕	4	1.45	1—11	22.5	72/58
J91-6	55	220/380	980	182/105	90.5	0.88	493	350	160	0.65	34	6	双层迭绕	2	1.45	1—11	34.6	72/58
J92-6	75	220/380	980	242/140	91.5	0.89	493	350	220	0.65	26	6	双层迭绕	3	1.35	1—11	38.5	72/58

同步转速 **750** 转/分 (**8** 极)

J61-8	4.5	220/380	730	18.4/10.6	83.5	0.77	327	230	80	0.45	34	1	双层迭绕	2	1.16	1—6	7.5	48/58
J62-8	7	220/380	730	28.2/16.3	85	0.779	327	230	105	0.45	24	1	双层迭绕	1 1	1.35 1.45	1—6	3.95 4.55	48/58
J71-8	10	220/380	730	38.5/22.3	85.5	0.80	368	260	105	0.50	40	2	双层迭绕	2	1.16	1—7	11.9	54/58
J72-8	14	220/380	730	52/30	87	0.81	368	260	135	0.50	32	2	双层迭绕	2	1.35	1—7	14.3	54/58
J81-8	20	220/380	730	73.5/42.5	88	0.82	423	300	130	0.60	20	2	双层迭绕	2	1.56	1—9	17.4	72/58
J82-8	28	220/380	730	101/58.5	88.5	0.829	423	300	180	0.60	30	4	双层迭绕	2	1.25	1—9	19.3	72/58
J91-8	40	220/380	730	141/81.5	90	0.838	493	350	160	0.65	28	4	双层迭绕	2 1	1.25 1.35	1—8	17.7 10.3	72/58
J92-8	55	220/380	730	190/110	90.5	0.845	493	350	220	0.65	22	4	双层迭绕	3	1.45	1—8	32.2	72/58

附录二　JO 型三相异步电动机的技术数据

型号	额定功率（千瓦）	额定电压（伏）	满载时				定子											转子槽数
			转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数 cosφ	外径（毫米）	内径（毫米）	铁心长度（毫米）	气隙长度（毫米）	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规 根数	线规 直径（毫米）	节距 1—x	线重（公斤）	
同步转速 3000 转/分（2 极）																		
JO 31-2	0.6	220/380	2880	2.45/1.42	76	0.85	145	80	55	0.4	88	1	单层同心式	1	0.57	1—12 2—11	1.22	24/20
JO 32-2	1.0	220/380	2880	3.88/2.24	79	0.86	145	80	82	0.4	78	1	单层同心式	1	0.69	1—12 2—11	1.65	24/20
JO 41-2	1.7	220/380	2890	6.34/3.66	81.5	0.87	182	102	72	0.5	56	1	单层同心式	1	1.0	1—12 2—11	2.8	24/20
JO 42-2	2.8	220/380	2890	10/5.8	83.5	0.89	182	102	105	0.5	41	1	单层同心式	1	1.12	1—12 2—11	3.0	24/20
JO 51-2	4.5	220/380	2900	15.8/9.1	85	0.885	245	145	82	0.6	34	1	单层同心式	1	1.56	1—12 2—11	5.23	24/20
JO 52-2	7.0	220/380	2900	24/13.8	86	0.90	245	145	115	0.6	25	1	单层同心式	2	1.25	1—12 2—11	5.7	24/20

JO 62-2	10	220/380	2920	34/19.5	86.8	0.91	327	182	100	0.7	36	2	双层迭绕	2	1.16	1—13	10.5	36/28
JO 63-2	14	220/380	2930	46.8/27	87.5	0.91	327	182	130	0.7	28	2	双层迭绕	2	1.35	1—13	11.7	36/28
JO 72-2	20	220/380	2940	66/38	88.3	0.92	368	210	135	0.8	12	1	双层迭绕	4 1	1.45 1.56	1—13	13.2 3.8	36/28
JO 73-2	28	220/380	2940	90/52	89	0.92	368	210	180	0.8	18	2	双层迭绕	3	1.56	1—13	18.5	36/28
JO 82-2	40	220/380	2950	128/74	89.6	0.93	423	245	180	1.1	16	2	双层迭绕	5	1.45	1—13	25	36/28
JO 83-2	55	220/380	2950	173/100	90.1	0.93	423	245	240	1.1	12	2	双层迭绕	4 2	1.56 1.45	1—13	21 9	36/28
JO 93-2	75	220/380	2960	236/136	90.6	0.93	493	280	250	1.0	10	2	双层迭绕	8	1.56	1—13	44.0	36/28
JO 94-2	100	220/380	2960	310/179	91.5	0.93	493	280	320	1.0	8	2	双层迭绕	12	1.56	1—13	53	36/28

同步转速 1500 转/分 (4 极)

JO 31-4	0.6	220/380	1420	2.8/1.6	74	0.76	145	90	55	0.25	116	1	单层链式	1	0.57	1—6	1.12	24/18
JO 32-4	1.0	220/380	1420	4.25/2.45	78.5	0.79	145	90	82	0.25	86	1	单层链式	1	0.64	1—6	1.34	24/18
JO 41-4	1.7	220/380	1430	6.7/3.9	81.5	0.82	182	110	72	0.3	50	1	单层交叉式	1	0.93	1—10 2/1—9	2.55	36/26
JO 42-4	2.8	220/380	1430	10.5/6.1	83.5	0.84	182	110	105	0.3	35	1	单层交叉式	1	1.12	1—10 2/1—9	2.92	36/26
JO 51-4	4.5	220/380	1440	16.4/9.5	85	0.85	245	155	82	0.4	29	1	单层交叉式	1	1.35	1—10 2/1—9	3.82	36/26
JO 52-4	7.0	220/380	1440	25.0/14.5	86	0.856	245	155	115	0.4	21	1	单层交叉式	2	1.16	1—10 2/1—9	4.82	36/26
JO 62-4	10.0	220/380	1460	34.6/20.0	86.80	0.88	327	210	100	0.5	42	2	双层迭绕	2	1.16	1—8	10	36/44
JO 63-4	14.0	220/380	1460	47.5/27.4	87.55	0.89	327	210	130	0.5	32	2	双层迭绕	2	1.35	1—8	13	36/44

（续表）

型号	额定功率（千瓦）	额定电压（伏）	满载时				定子											定、转子槽数
			转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数 cosφ	外径（毫米）	内径（毫米）	铁心长度（毫米）	气隙长度（毫米）	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规 根数	线规 直径（毫米）	节距 1—x	线重（公斤）	
JO72-4	20.0	220/380	1460	67.0/38.7	88.50	0.89	368	230	135	0.6	14	1	双层迭绕	5	1.56	1—8	17	36/44
JO73-4	28.0	220/380	1460	92.0/53.0	89.50	0.90	368	230	180	0.6	42	4	双层迭绕	2	1.35	1—8	18	36/44
JO82-4	40.0	220/380	1470	130.0/75.0	90.00	0.90	423	280	180	0.7	30	4	双层迭绕	2	1.56	1—11	25.5	48/38
JO83-4	55.0	220/380	1470	178.0/103.0	90.50	0.90	423	300	240	0.7	22	4	双层迭绕	2 1	1.45 1.35	1—11	19.3 8.4	48/47
JO93-4	75.0	220/380	1470	237.0/137.0	91.00	0.92	493	327	260	0.9	14	4	双层迭绕	5	1.45	1—12	43.7	60/47
JO94-4	100.0	220/380	1470	312.0/180.0	91.50	0.92	493	327	320	0.9	12	4	双层迭绕	6	1.45	1—12	49.5	60/47
同步转速 1000 转/分（6 极）																		
JO41-6	1.0	220/380	940	4.93/2.84	76.7	0.72	182	110	72	0.3	72	1	单层链式	1	0.77	1—6	2.44	36/44
JO42-6	1.7	220/380	940	7.65/4.43	79.6	0.75	182	110	105	0.3	50	1	单层链式	1	0.93	1—6	2.57	36/44
JO51-6	2.8	220/380	960	11.6/6.7	82	0.775	245	155	82	0.4	45	1	单层链式	1	1.12	1—6	3.02	36/44
JO52-6	4.5	220/380	960	17.7/10.2	84	0.80	245	155	115	0.4	31	1	单层链式	1	1.4	1—6	4.0	36/44
JO62-6	7.0	220/380	970	27.0/15.5	86.0	0.809	327	210	100	0.5	48	1	双层迭绕	1 1	1.35 1.45	1—6	4.2 4.7	36/44
JO63-6	10.0	220/380	970	37.2/21.5	87.0	0.82	327	210	130	0.5	22	1	双层迭绕	3	1.35	1—6	5.8	36/44

JO 72-6	14.0	220/380	980	49.0/28.3	87.5	0.85	368	260	135	0.5	26	2	双层迭绕	2	1.45	1—9	15.3	54/58
JO 73-6	20.0	220/380	980	69.5/40.0	88.5	0.86	368	260	180	0.5	28	3	双层迭绕	1 1	1.35 1.45	1—9	8 9.2	54/58
JO 82-6	28.0	220/380	980	94.5/54.5	89.0	0.88	423	300	180	0.6	20	3	双层迭绕	2	1.56	1—11	21.4	72/58
JO 83-6	40.0	220/380	980	132.0/76.0	90.0	0.89	423	300	240	0.6	10	2	双层迭绕	4	1.56	1—11	24.5	72/58
JO 93-6	55.0	220/380	980	189.0/109.0	91.0	0.89	493	350	260	0.65	26	6	双层迭绕	1 2	1.25 1.35	1—11	11 26.7	72/58
JO 94-6	75.0	220/380	980	239.0/138.0	91.5	0.90	493	350	320	0.65	20	6	双层迭绕	3	1.56	1—11	46.5	72/58

同步转速 750 转/分 (8 极)

JO 62-8	4.5	220/380	730	18.3/10.5	84.5	0.76	327	230	100	0.45	28	1	双层迭绕	2	1.25	1—6	8.2	48/58
JO 63-8	7.0	220/380	730	27.7/16.0	85.5	0.78	327	230	130	0.45	22	1	双层迭绕	2	1.45	1—6	9.5	48/58
JO 72-8	10.0	220/380	730	38.0/22.0	86.5	0.80	368	260	135	0.5	34	2	双层迭绕	2	1.25	1—7	13	54/58
JO 73-8	14.0	220/380	730	52.0/30.0	87.5	0.81	368	260	180	0.5	26	2	双层迭绕	2	1.45	1—7	15.7	54/58
JO 82-8	20.0	220/380	735	73.5/42.5	88.5	0.82	423	300	180	0.6	16	2	双层迭绕	2 1	1.35 1.45	1—9	11.7 6.7	72/58
JO 83-8	28.0	220/380	735	99.5/57.5	89.0	0.83	423	300	240	0.6	26	4	双层迭绕	2	1.35	1—9	24	72/58
JO 93-8	40.0	220/380	735	139.0/80.0	90.5	0.84	493	350	260	0.65	22	4	双层迭绕	3	1.45	1—9	34	72/58
JO 94-8	55.0	220/380	735	187.0/108.0	91.0	0.845	493	350	320	0.65	16	4	双层迭绕	2 2	1.45 1.35	1—9	19.5 16.7	72/58

附录三　J_2型三相异步电动机的技术数据

型号	额定功率(千瓦)	额定电压(伏)	满载时				定子										定、转子槽数	额定电流(安)	空载电流(安)
			转速(转/分)	电流(安)	效率(%)	功率因数 cosφ	外径(毫米)	内径(毫米)	铁心长度(毫米)	气隙长度(毫米)	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规 根数	线规 直径(毫米)	节距 1—x	线重(公斤)			
同步转速 3000 转/分 (2 极)																				
J_2-61-2	17	380	2910	32.5	88.5	0.90	280	155	110	0.8	32	1	双层迭绕	1 1	1.40 1.35	1—13	5.04 4.7	36/22	—	—
J_2-62-2	22	380	2920	41.7	89	0.90	280	155	130	0.8	26	1	双层迭绕	2	1.60	1—13	10.67	36/22	—	—
J_2-71-2	30	380	2940	56.2	89.2	0.91	327	182	130	0.8	20	1	双层迭绕	4	1.30	1—13	15.75	36/28	55.6	11
J_2-72-2	40	380	2940	73.9	90.5	0.91	327	182	155	0.8	16	1	双层迭绕	4	1.50	1—13	17.70	36/28	73	16.3
J_2-81-2	55	380	2950	99.8	91	0.92	368	210	180	1.1	28	2	双层迭绕	2	1.50	1—13	26.9	36/28	100	15.9
J_2-82-2	75	380	2960	135.4	91.5	0.92	368	210	230	1.1	22	2	双层迭绕	2 3	1.25 1.30	1—13	28.6	36/28	134.5	20.8
同步转速 1500 转/分 (4 极)																				
J_2-61-4	13	380	1460	25.5	88	0.88	280	182	120	0.5	34	1	双层迭绕	2	1.20	1—8	7.1	36/28	—	—
J_2-62-4	17	380	1460	33	89	0.88	280	182	155	0.5	54	2	双层迭绕	1	1.40	1—8	7.8	36/28	—	—
J_2-71-4	22	380	1460	42.5	89.5	0.88	327	210	145	0.5	24	1	双层迭绕	3	1.30	1—9	12.05	36/28	42.6	10.8

J_2-72-4	30	380	1460	57.6	90	0.88	327	210	175	0.5	38	2	双层迭绕	2	1.35	1—9	14.82	36/28	58.4	9.39
J_2-81-4	40	380	1470	75.1	91	0.89	368	245	180	0.65	54	4	双层迭绕	1	1.50	1—11	18.9	48/38	75.4	19.52
J_2-82-4	55	380	1470	102.5	91.5	0.89	368	245	240	0.65	20	2	双层迭绕	3	1.50	1—11	23.8	48/38	98	25
J_2-91-4	75	380	1470	137.5	92	0.90	423	280	210	0.85	16	2	双层迭绕	4	1.50	1—13	31.8	60/50	137.7	20.8
同步转速 1000 转/分 (6 极)																				
J_2-61-6	10	380	960	21.4	86.5	0.82	280	200	165	0.40	23	1	双层迭绕	2	1.12	1—9	7.9	54/44	—	—
J_2-62-6	13	380	960	27.4	87	0.83	280	200	205	0.40	22	1	双层迭绕	2	1.25	1—9	10	54/44	—	—
J_2-71-6	17	380	970	35	88	0.84	327	230	155	0.45	40	2	双层迭绕	1	1.40	1—9	10.1	54/44	32.8	11.2
J_2-72-6	22	380	970	44.4	88.5	0.85	327	230	200	0.45	32	2	双层迭绕	1	1.62	1—9	12.3	54/44	41.9	13.2
J_2-81-6	30	380	980	59.3	89.5	0.86	368	260	180	0.50	24	2	双层迭绕	2	1.40	1—11	18.9	72/58	55.7	19.95
J_2-82-6	40	380	980	77.2	90.5	0.87	368	260	240	0.50	28	3	双层迭绕	2	1.35	1—11	23.7	72/58	73	22
J_2-91-6	55	380	980	103.8	91.5	0.88	423	300	255	0.5	43	6	双层迭绕	1	1.56	1—11	28.1	72/56	101.8	14.4
J_2-92-6	75	380	980	139	92	0.89	423	300	340	0.6	34	6	双层迭绕	2	1.30	1—11	34	72/56	136.8	24.1
同步转速 750 转/分 (8 极)																				
J_2-61-8	7.5	380	720	17.1	85.5	0.78	280	200	165	0.40	36	1	双层迭绕	1	1.45	1—7	8	54/58	—	—
J_2-62-8	10	380	720	22.1	86	0.80	280	200	205	0.40	54	2	双层迭绕	1	1.20	1—7	9.5	54/58	—	—

（续表）

型号	额定功率（千瓦）	额定电压（伏）	满载时				定子											定、转子槽数	额定电流（安）	空载电流（安）
			转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数 cosφ	外径	内径	铁心长度	气隙长度	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规 根数	线规 直径（毫米）	节距 1—x	线重（公斤）			
							（毫米）													
J_2-71-8	13	380	720	28	87	0.81	327	230	155	0.45	50	2	双层迭绕	1	1.30	1—7	9.88	54/58	27.3	11.7
J_2-72-8	17	380	720	36	87.5	0.82	327	230	200	0.45	20	1	双层迭绕	1 1	1.45 1.50	1—7	11.72	54/58	34.6	14.4
J_2-81-8	22	380	730	46.1	88.5	0.82	368	260	180	0.50	30	2	双层迭绕	2	1.25	1—9	17.6	72/58	44.8	18.63
J_2-82-8	30	380	730	61.7	89	0.83	368	260	240	0.50	46	4	双层迭绕	1	1.50	1—9	22.5	72/58	60	24.6
J_2-91-8	40	380	730	80.5	90	0.84	423	300	255	0.50	36	4	双层迭绕	2	1.16	1—9	22.8	72/56	80	17.8
J_2-92-8	55	380	735	109	91	0.84	423	300	340	0.50	28	4	双层迭绕	1 1	1.40 1.45	1—9	31.9	72/56	106.5	21.4
同步转速 600 转/分（10 极）																				
J_2-81-10	17	380	580	39.1	87	0.76	368	260	180	0.45	40	2	双层迭绕	1 1	1.16 1.25	1—6	16.4	60/64	39.3	21.9
J_2-82-10	22	380	580	49.4	88	0.77	368	260	240	0.45	30	2	双层迭绕	2	1.35	1—6	18.35	60/64	50.6	29.1
J_2-91-10	30	380	580	66	88.5	0.78	423	300	240	0.50	62	5	双层迭绕	1	1.35	1—6	19.4	60/64	64.65	19
J_2-92-10	40	380	580	87	89.5	0.78	423	300	320	0.50	48	5	双层迭绕	2	1.16	1—6	26.7	60/64	83.5	23.2

附录四　JO_2 型三相异步电动机的技术数据

型号	额定功率（千瓦）	额定电压（伏）	满载时				定子										定、转子槽数	额定电流（安）	空载电流（安）
			转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数 $\cos\varphi$	外径（毫米）	内径（毫米）	铁心长度（毫米）	气隙长度（毫米）	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规 根数	线规 直径（毫米）	节距 1—x	线重（公斤/台）			
同步转速 3000 转/分（2 极）																				
JO_2-11-2	0.8	380	2850	1.72	77.5	0.85	120	67	65	0.3	94	1	单层同心式	1	0.67	1—12 2—11	1.61	24/20	1.72	0.78
JO_2-12-2	1.1	380	2850	2.35	79.5	0.86	120	67	85	0.3	72	1	单层同心式	1	0.77	1—12 2—11	1.775	24/20	2.35	1.03
JO_2-21-2	1.5	380	2850	3.22	81	0.87	145	82	75	0.4	80	1	单层交叉式	1	0.83	2/1—9 1/1—8	1.805	18/16	3.22	1.23
JO_2-22-2	2.2	380	2860	4.64	82.5	0.87	145	82	100	0.4	60	1	单层交叉式	1	0.93	2/1—9 1/1—8	1.88	18/16	4.53	1.71
JO_2-31-2	3.0	380	2860	6.13	84	0.88	167	94	95	0.45	41	1	单层同心式	1	1.12	1—12 2—11	2.74	24/20	6.29	2.29
JO_2-32-2	4.0	380	2860	8.05	85.5	0.88	167	94	125	0.45	56	1	单层同心式	1	0.96	1—12 2—11	3.02	24/20	8.0	2.74
JO_2-41-2	5.5	380	2920	10.9	86.5	0.88	210	114	110	0.6	53	1	单层同心式	2	0.93	1—12 2—11	5.76	24/20	10.7	3.5

（续表）

型号	额定功率（千瓦）	额定电压（伏）	满载时				定子											定、转子槽数	额定电流（安）	空载电流（安）
			转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数 $\cos\varphi$	外径（毫米）	内径（毫米）	铁心长度（毫米）	气隙长度（毫米）	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规 根数	线规 直径（毫米）	节距 1—x	线重（公斤/台）			
JO_2-42-2	7.5	380	2920	14.8	87.5	0.88	210	114	135	0.6	43	1	单层同心式	2	1.08	1—12 2—11	6.77	24/20	14.33	4.6
JO_2-51-2	10	380	2920	19.7	87.5	0.88	245	136	120	0.7	40	1	单层同心式	2	1.35	1—12 2—11	10.4	24/20	19.44	6.1
JO_2-52-2	13	380	2920	25.5	88	0.88	245	136	160	0.7	32	1	单层同心式	1 2	1.16 1.25	1—12 2—11	11.22	24/20	24.45	6.5
JO_2-61-2	17	380	2940	32.4	88.5	0.90	280	155	155	0.7	50	2	双层迭绕	1	1.45	1—11	9.15	30/22	31.45	7.06
JO_2-71-2	22	380	2940	42	88.5	0.90	327	182	155	0.8	20	1	双层迭绕	4	1.35	1—13	17.92	36/28	39.8	7.73
JO_2-72-2	30	380	2940	56	89.5	0.91	327	182	200	0.8	16	1	双层迭绕	2 2	1.56 1.62	1—13	21.8	36/28	55.5	9.15
JO_2-82-2	40	380	2960	74.2	90	0.91	368	210	240	1.1	26	2	双层迭绕	1 2	1.5 1.56	1—13	29.8	36/28	71.7	13.95
JO_2-91-2	55	380	2960	100.3	90	0.92	423	245	260	1.5	20	2	双层迭绕	2 2	1.5 1.56	1—15	38.7	42/34	100.2	9.65
JO_2-92-2	75	380	2960	136	91	0.92	423	245	300	1.5	16	2	双层迭绕	5	1.56	1—15	42.7	42/34	133	12.78
JO_2-93-2	100	380	2960	180	92	0.92	423	245	365	1.4	12	2	双层迭绕	7	1.56	1—15	48.9	42/34	180.1	17.9

同步转速 1500 转/分 (4 极)

JO_2-11-4	0.6	380	1410	1.57	74	0.76	120	75	85	0.25	115	1	单层链式	1	0.57	1—6	1.217	24/22	1.57	0.875
JO_2-12-4	0.8	380	1410	1.99	76.5	0.77	120	75	100	0.25	96	1	单层链式	1	0.67	1—6	1.52	24/22	1.99	1.1
JO_2-21-4	1.1	380	1410	2.67	79	0.79	145	90	85	0.25	80	1	单层链式	1	0.72	1—6	1.445	24/22	2.64	1.362
JO_2-22-4	1.5	380	1410	3.48	80.5	0.81	145	90	115	0.25	62	1	单层链式	1	0.83	1—6	1.715	24/22	3.42	1.588
JO_2-31-4	2.2	380	1430	4.89	82	0.83	167	104	95	0.3	41	1	单层交叉式	1	0.96	2/1—9 1/1—8	2.27	36/26	4.85	2.38
JO_2-32-4	3.0	380	1430	6.47	83.5	0.84	167	104	135	0.3	31	1	单层交叉式	1	1.12	2/1—9 1/1—8	2.74	36/26	6.31	2.70
JO_2-41-4	4.0	380	1440	8.37	85	0.85	210	136	100	0.35	52	1	单层交叉式	1	1.0	2/1—9 1/1—8	3.55	36/26	8.4	3.5
JO_2-42-4	5.5	380	1440	11.25	86	0.86	210	136	125	0.35	42	1	单层交叉式	1	1.12	2/1—9 1/1—8	3.96	36/26	11.2	4.25
JO_2-51-4	7.5	380	1450	14.9	87	0.87	245	162	120	0.40	38	1	单层交叉式	2	1.0	2/1—9 1/1—8	6.08	36/26	14.85	4.54
JO_2-52-4	10	380	1450	19.9	87.5	0.87	245	162	160	0.40	29	1	单层交叉式	2	1.12	2/1—9 1/1—8	6.56	36/26	19.7	5.9
JO_2-61-4	13	380	1460	25.6	88	0.88	280	182	155	0.45	54	2	双层迭绕	1	1.25	1—8	7.58	36/28	25.65	8.62
JO_2-62-4	17	380	1460	32.9	89	0.88	280	182	190	0.45	42	2	双层迭绕	1	1.45	1—8	8.75	36/28	32.5	12.23
JO_2-71-4	22	380	1470	42.5	89.5	0.88	327	210	175	0.5	42	2	双层迭绕	2	1.25	1—9	14.05	36/28	43.5	9.59
JO_2-72-4	30	380	1470	57.6	90	0.88	327	210	235	0.5	32	2	双层迭绕	2	1.50	1—9	17.7	36/28	56.5	11.7
JO_2-82-4	40	380	1470	75.1	91	0.89	368	245	275	0.65	22	2	双层迭绕	3	1.40	1—11	24.4	48/38	72	15.1
JO_2-91-4	55	380	1470	102.5	91.5	0.89	423	280	260	0.85	34	4	双层迭绕	2	1.50	1—13	37.1	60/50	96.9	11.02
JO_2-92-4	75	380	1470	137.5	92	0.89	423	280	340	0.85	26	4	双层迭绕	3	1.45	1—13	45.5	60/50	134	14.33
JO_2-93-4	100	380	1470	183.5	92	0.90	423	280	380	0.85	22	4	双层迭绕	4	1.40	1—13	50.8	60/50	180	18.4

（续表）

型号	额定功率（千瓦）	额定电压（伏）	满载时				定子										定、转子槽数	额定电流（安）	空载电流（安）
			转速（转/分）	电流（安）	效率（%）	功率因数 $\cos\varphi$	外径（毫米）	内径（毫米）	铁心长度（毫米）	气隙长度（毫米）	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规 根数	线规 直径（毫米）	节距 1—x	线重（公斤/台）			
同步转速 1000 转/分（6 极）																				
JO_2-21-6	0.8	380	930	2.31	75	0.70	145	94	85	0.25	81	1	单层链式	1	0.67	1—6	1.62	36/33	2.22	1.53
JO_2-22-6	1.1	380	930	3.0	77	0.72	145	94	115	0.25	61	1	单层链式	1	0.77	1—6	1.895	36/33	2.88	1.89
JO_2-31-6	1.5	380	940	3.9	78.5	0.74	167	114	95	0.3	60	1	单层链式	1	0.86	1—6	2.28	36/33	3.79	2.16
JO_2-32-6	2.2	380	940	5.44	80.5	0.76	167	114	135	0.3	42	1	单层链式	1	1.04	1—6	2.81	36/33	5.52	3.18
JO_2-41-6	3.0	380	950	7.06	82.5	0.78	210	148	110	0.35	40	1	单层链式	1	1.20	1—6	3.44	36/33	6.86	3.33
JO_2-42-6	4.0	380	950	9.1	84	0.79	210	148	140	0.35	55	1	单层链式	1	1.04	1—6	4.03	36/33	8.9	4.02
JO_2-51-6	5.5	380	960	12.25	85	0.80	245	174	130	0.35	47	1	单层链式	1	1.20	1—6	4.70	36/33	11.6	4.9
JO_2-52-6	7.5	380	960	16.3	86	0.81	245	174	170	0.35	37	1	单层链式	1	1.40	1—6	5.81	36/33	15.53	6.1
JO_2-61-6	10	380	970	21.3	87	0.82	280	200	175	0.40	22	1	双层迭绕	1 1	1.16 1.12	1—9	7.6	54/44	21.05	10.1
JO_2-62-6	13	380	970	27.2	87.5	0.83	280	200	220	0.40	18	1	双层迭绕	1 1	1.35 1.30	1—9	9.53	54/44	26.8	11.6
JO_2-71-6	17	380	970	34.8	88.5	0.84	327	230	200	0.45	18	1	双层迭绕	1 1	1.50 1.45	1—9	11.5	54/44	32.6	9.8
JO_2-72-6	22	380	970	44.8	89	0.85	327	230	250	0.45	28	2	双层迭绕	2	1.20	1—9	13.42	54/44	41.2	12.8
JO_2-81-6	30	380	980	59.3	89.5	0.86	368	260	240	0.50	32	3	双层迭绕	2	1.25	1—11	23.3	72/58	54	14.83

JO_3-82-6	40	380	980	77.2	90.5	0.87	368	260	310	0.50	24	3	双层迭绕	2	1.45	1—11	27.2	72/58	73.75	24
JO_2-91-6	55	380	980	103.8	91.5	0.88	423	300	320	0.6	20	3	双层迭绕	3	1.40	1—11	33.6	72/56	98.8	15.69
JO_2-92-6	75	380	980	139	92	0.89	423	300	420	0.62	30	6	双层迭绕	2	1.40	1—11	39.8	72/56	134.5	22.8

同步转速 750 转/分 (8 极)

JO_2-41-8	2.2	380	710	6.08	80.5	0.68	210	148	110	0.35	37	1	单层链式	1	1.12	1—6	3.40	48/44	5.94	4.18
JO_2-42-8	3.0	380	710	7.64	82.5	0.72	210	148	140	0.35	31	1	单层链式	1	1.30	1—6	4.39	48/44	7.47	4.41
JO_2-51-8	4.0	380	720	9.6	84	0.75	245	174	130	0.35	48	1	单层链式	1	1.12	1—6	4.95	48/44	9.07	4.61
JO_2-52-8	5.5	380	720	12.7	85	0.77	245	174	170	0.35	37	1	单层链式	1	1.30	1—6	5.95	48/44	12.16	5.81
JO_2-61-8	7.5	380	720	17.0	86	0.78	280	200	175	0.40	58	2	双层迭绕	1	1.04	1—7	7.58	54/58	16.0	8.75
JO_2-62-8	10	380	720	21.8	87	0.80	280	200	220	0.40	46	2	双层迭绕	1	1.20	1—7	9.2	54/58	20.8	10.5
JO_2-71-8	13	380	720	27.9	87.5	0.81	327	230	200	0.45	42	2	双层迭绕	1	1.35	1—7	10.32	54/58	26.6	12.5
JO_2-72-8	17	380	720	35.8	88	0.82	327	230	250	0.45	34	2	双层迭绕	1	1.56	1—7	12.8	54/58	34	15.2
JO_2-81-8	22	380	730	46.1	88.5	0.82	368	260	240	0.50	24	2	双层迭绕	2	1.35	1—9	19	72/58	46.1	20.95
JO_2-82-8	30	380	730	61.7	89	0.83	368	260	310	0.50	20	2	双层迭绕	2	1.62	1—9	26.6	72/58	57.5	22.5
JO_2-91-8	40	380	730	80.5	90	0.84	423	300	320	0.6	34	4	双层迭绕	2	1.30	1—9	30.9	72/56	77.9	15.67
JO_2-92-8	55	380	730	109	91	0.84	423	300	420	0.6	26	4	双层迭绕	2	1.50	1—9	37.6	72/56	104	19.7

同步转速 600 转/分 (10 极)

JO_2-81-10	17	380	580	38.9	87.5	0.76	368	260	240	0.45	34	2	双层迭绕	2	1.25	1—6	17.8	60/64	36.4	19.2
JO_2-82-10	22	380	580	49.4	88	0.77	368	260	310	0.45	26	2	双层迭绕	2	1.45	1—6	21.7	60/64	48	27
JO_2-91-10	30	380	580	66	88.5	0.78	423	300	320	0.5	52	5	双层迭绕	1	1.40	1—6	21.1	60/64	62.2	18.6
JO_2-92-10	40	380	580	87	89.5	0.78	423	300	400	0.5	42	5	双层迭绕	1	1.62	1—6	26.7	60/64	82.0	23.4

附录五 JO_3 型三相异步

型号	额定									绝缘等级	空载电流(安)
	功率(千瓦)	电压(伏)	接法	电流(安)	转速(转/分)	转差率(%)	效率(%)	功率因数 $\cos\varphi$	温升(°C)		
											(两
JO_3T-801-2	1.1	380	Y	2.52	2800		77	0.86		E	1.09
JO_3T-802-2	1.5	380	Y	3.38	2800		78.5	0.86		E	1.56
JO_3T-90S-2	2.2	380	Y	4.75	2850		81	0.87		E	2.07
JO_3T-100S-2	3	380	Y	6.34	2880		82.5	0.87		E	2.23
JO_3T-100L-2	4	380	△	8.16	2880		84.5	0.88		E	2.92
JO_3T-112S-2	5.5	380	△	11.18	2880		85	0.88		E	3.66
JO_3T-112L-2	7.5	380	△	15	2900		86	0.88		E	
$JO_3$140M-2L	11	380	△	22	2940		86.5	0.88	75	E	
$JO_3$160S-2TH	15	380	△	30	2930		86.5	0.88	75	E	
$JO_3$160M-2TH	18.5	380	△	36.5	2940		87.5	0.88	75	E	
$JO_3$180M1-2	22	380	△	43.2		1.78	88	0.88	66.5		
$JO_3$180M2-2	30	380	△	56		1.56	88.5	0.88	72		
$JO_3$200M-2	40	380	△	77		1.115	89.5	0.88	72.7		

电动机的技术数据

定子										定、转子槽数
外径	内径	铁心长度	气隙长度	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规	节距	线重（公斤）	
（毫米）										
极）										
130	70	65	0.30	107	1	单层交叉	QZ ϕ0.77	2/1—9 1/1—8	1.68	18/16
130	70	85	0.30	82	1	单层交叉	QZ ϕ0.86	2/1—9 1/1—8	1.79	18/16
145	80	90	0.30	50	1	单层同心	QZ ϕ1.0	1—12 2—11	2.05	24/20
167	94	90	0.35	42	1	单层同心	QZ 2×ϕ0.86	1—12 2—11	3.00	24/20
167	94	120	0.35	55	1	单层同心	QZ ϕ1.04	1—12 2—11	3.08	24/20
188	104	110	0.40	45	1	单层同心	QZ 1×ϕ1.0 +1×ϕ0.96	1—16 1—14 2—15 2—13 3—14	3.00 2.80	30/26
188	104	145	0.40	43	1	单层同心	QZ 3×ϕ0.90	1—12 2—11	6.0	24/20
245	136	155	0.5	62	2	单层同心	QZL ϕ1.4	1—12 2—11	2.98	24/20
280	150	160	0.6	54	2	双层	QZ 2×ϕ1.16	1—12 2—11	10.8	24/20
280	150	200	0.6	45	2	双层	QZ 2×ϕ1.3	1—12 2—11	13.8	24/20
328	174	145	0.8	15	1	单层同心	QZL 4×ϕ1.62	1—18 2—17 3—16		36/28
328	174	195	0.8	11	1	单层同心	QZL 6×ϕ1.56	1—18 2—17 3—16		36/28
368	205	210	1.0	19	2	单层同心	QZL 4×ϕ1.68	1—18 2—17 3—16		36/28

型号	额定									绝缘等级	空载电流(安)
	功率(千瓦)	电压(伏)	接法	电流(安)	转速(转/分)	转差率(%)	效率(%)	功率因数 cos φ	温升(°C)		
$JO_3225S-2$	55	380	△	102.6		1.017	90	0.88	69		
$JO_3250S-2$	75	380	△	139		0.834	90.5	0.88	66.7		40
$JO_3280S-2$	100	380	△	183		0.8	91	0.88	66		47.6
											(四
$JO_3T-801-4$	0.75	380	Y	1.95	1400		75	0.78		E	1.12
$JO_3T-802-4$	1.1	380	Y	2.78	1400		76	0.79		E	1.7
$JO_3T-90S-4$	1.5	380	Y	3.63	1420		78.5	0.80		E	2.92
$JO_3T-100S-4$	2.2	380	Y	5.09	1420		80	0.82		E	2.37
$JO_3T-100L-4$	3	380	Y	6.73	1440		82.5	0.82		E	3.29
$JO_3T-112S-4$	4	380	△	8.61	1440		83	0.85		E	4.01
$JO_3T-112L-4$	5.5	380	△	11.48	1440		84.5	0.86		E	
$JO_3140S-4L$	7.5	380	△	15.4	1450		86	0.86	75	E	
$JO_3140M-4L$	11	380	△	22.5	1460		86.5	0.86	75	E	
$JO_3160S-4TH$	15	380	△	30.4	1460		87.5	0.86	75	E	
$JO_3160M-4$	18.5	380	△	37.3	1460		88	0.86	75	E	
$JO_3180M1-4$	22	380	△	43.7		1.82	89	0.86	75		
$JO_3180M2-4$	30	380	△	57.2		1.772	89.5	0.86	75		
$JO_3200M-4$	40	380	△	76.7		1.6	91.5	0.87	68.5		

（续表）

定子										定、转子槽数
外径	内径	铁心长度	气隙长度	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规	节距	线重（公斤）	
（毫米）										
400	220	240	1.2	15	2	单层同心	QZL 6×φ1.56	1—18 2—17 3—16		36/28
405	220	300	1.4	15	2	双层	QZL 11×φ1.56	1—14		36/28
462	250	280	1.6	14	2	双层	QZL 12×φ1.68	1—14		36/28
极）										
130	80	75	0.25	113	1	单层链形	QZ φ0.69	1—6	1.58	24/22
130	80	100	0.25	85	1	单层链形	QZ φ0.80	1—6	1.82	24/22
145	90	100	0.25	69	1	单层链形	QZ φ0.86	1—6	1.81	24/22
167	104	85	0.30	48	1	单层交叉	QZ φ1.04	2/1—9 1/1—8	2.72	36/26
167	104	115	0.30	36	1	单层交叉	QZ 2×φ0.86	2/1—9 1/1—8	3.0	36/26
188	118	110	0.30	54	1	单层交叉	QZ 2×φ0.74	2/1—9 1/1—8	3.60	36/32
188	118	150	0.30	40	1	单层交叉	QZ 1×φ0.86 +1×φ0.90	2/1—9 1/1—8	2.3 2.49	36/32
245	162	120	0.35	35	1	单层交叉	QZL φ1.12	2/1—9 1/1—8	2.2	36/26
245	162	170	0.35	24	1	单层交叉	QZL 2×φ1.35	2/1—9 1/1—8	2.6	36/26
280	180	170	0.45	46	2	双层	QZ 2×φ1.04	1—9	10.5	36/28
280	180	210	0.45	40	2	双层	QZ 2×φ1.16	1—9	9	36/28
328	200	185	0.7	40	2	双层	QZL 2×φ1.62	1—8		36/33
328	200	230	0.7	30	2	双层	QZL 2×φ1.56 +1×φ1.52	1—9		36/33
368	230	240	0.7	26	2	双层	QZL 4×φ1.56	1—9		36/36

型号	额定									绝缘等级	空载电流(安)
	功率(千瓦)	电压(伏)	接法	电流(安)	转速(转/分)	转差率(%)	效率(%)	功率因数 $\cos\varphi$	温升(°C)		
$JO_3$225S-4	55	380	△	103		1.39	91.5	0.88	68.5		
JO_3T-225S-4	75	380	△	140.6		1.35	92	0.88	67		
$JO_3$250S-4	75	380	△	143.4		1.33	92	0.88	71.2		49.1
$JO_3$280S-4	100	380	△	188		1.333	92.5	0.89	75.5		57.3

(六

JO_3-T-801-6	0.55	380	Y	1.835	900		69	0.66		E	1.24
JO_3-T-802-6	0.75	380	Y	2.41	900		70.5	0.67		E	1.64
JO_3-T-90S-6	1.1	380	Y	3.12	930		74.5	0.72		E	2.23
JO_3-T-100S-6	1.5	380	Y	3.77	930		78.5	0.76		E	2.32
JO_3-T-100L-6	2.2	380	Y	5.40	930		80.5	0.77		E	3.74
JO_3-T-112S-6	3	380	Y	7.15	950		81.5	0.78		E	3.82
JO_3-T-112L-6	4	380	△	9.42	950		82.5	0.78		E	
$JO_3$140S-6L	5.5	380	△	12.6	950		85	0.79	75	E	
$JO_3$140M-6L	7.5	380	△	17	950		85	0.79	75	E	
$JO_3$160S-6TH	11	380	△	24	960		85.5	0.81	75	E	
$JO_3$160M-6TH	15	380	△	32	960		87	0.82	75	E	
$JO_3$180M1-6	18.5	380	△	38.2		2.2	87.5	0.84	72.5		
$JO_3$180M2-6	22	380	△	44.7		2.13	88	0.85	74		

（续表）

定子										定、转子槽数
外径	内径	铁心长度	气隙长度	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规	节距	线重（公斤）	
（毫米）										
400	250	260	0.9	18	2	双层	QZL $6\times\phi1.5$	1—11		48/44
400	250	300	0.9	14	2	双层	QZ $3\times\phi1.5+3\times\phi1.56$	1—11		48/44
405	250	320	0.8	28	4	双层	QZL $2\times\phi1.62+2\times\phi1.56$	1—12		48/44
462	280	290	1.0	22	4	双层	QZL $6\times\phi1.5$	1—14		60/50
极）										
130	80	80	0.25	128	1	双层	QZ $\phi0.64$	1—5	1.51	27/24
130	80	100	0.25	104	1	双层	QZ $\phi0.72$	1—5	1.73	27/24
145	94	105	0.25	65	1	双层	QZ $\phi0.83$	1—6	2.12	36/26
167	114	90	0.25	62	1	单层链形	QZ $\phi0.90$	1—6	2.30	36/33
167	114	125	0.25	45	1	单层链形	QZ $2\times\phi0.77$	1—6	2.91	36/33
188	128	115	0.25	41	1	单层链形	QZ $2\times\phi0.90$	1—6	3.45	36/33
188	128	150	0.25	54	1	单层链形	QZ $1\times\phi0.83+1\times\phi0.8$	1—6	2.35 2.17	36/33
245	174	120	0.35	46	1	单层链形	QZL $\phi1.4$	1—6	1.8	36/33
245	174	170	0.35	66	2	单层链形	QZL $\phi1.16$	1—6	2.05	36/33
280	200	180	0.4	60	2	双层	QZ $\phi1.3$	1—6	8.8	36/33
280	200	240	0.4	44	2	双层	QZ $\phi1.5$	1—6	11.5	36/33
328	230	210	0.45	45	2	双层	QZL $1\times\phi1.35+1\times\phi1.4$	1—6		36/33
328	230	250	0.45	38	2	双层	QZL $2\times\phi1.5$	1—6		36/33

型号	额定									绝缘等级	空载电流(安)
	功率(千瓦)	电压(伏)	接法	电流(安)	转速(转/分)	转差率(%)	效率(%)	功率因数 $\cos\varphi$	温升(°C)		
$JO_3$200M-6	30	380	△	59.6		1.85	90	0.85	73.5		
$JO_3$250S-6	55	380	△	105.5		1.5	91	0.86	70		41.2
$JO_3$280S-6	75	380	△	142.5		1.37	92	0.87	66		44.7
											(八
JO_3-T-90S-8	0.75	380	Y	2.74	680		68	0.61		E	
JO_3-T-100S-8	1.1	380	Y	3.36	700		73	0.68		E	
JO_3-T-100L-8	1.5	380	Y	4.46	700		75	0.68		E	
JO_3-T-112S-8	2.2	380	Y	5.83	700		78.5	0.73		E	4.3
JO_3-T-112L-8	3	380	Y	7.74	700		79.5	0.74		E	
$JO_3$140S-8L	4	380	△	10.1	710		83.5	0.78	75	E	
$JO_3$140M-8L	5.5	380	△	13.5	720		84.5	0.74	75	E	
$JO_3$160S-8TH	7.5	380	△	17.8	720		85.5	0.76	75	E	
$JO_3$160M-8TH	11	380	△	24.7	720		86.5	0.78	75	E	
$JO_3$180M1-8	15	380	△	33.2		3.17	87	0.79	71		
$JO_3$180M2-8	18.5	380	△	40		3.135	88	0.80	74.3		
$JO_3$200M-8	22	380	△	46.4		2.28	90	0.80	61.5		
$JO_3$250S-8	40	380	△	81.5		2.0	91	0.82	63		
$JO_3$280S-8	55	380	△	110		1.73	91.5	0.83	70		

（续表）

定子										定、转子槽数
外径	内径	铁心长度	气隙长度	每槽线数	并联支路数	绕组型式	线规	节距	线重（公斤）	
（毫米）										
368	245	240	0.5	35	2	双层	QZL 2×φ1.5 +1×φ1.56	1—6		36/33
405	275	320	0.6	19	3	双层	QZL 4×φ1.56	1—12		72/58
462	315	310	0.7	17	3	双层	QZL 6×φ1.5	1—12		72/68
极）										
145	94	105	0.25	82	1	双层	QZ φ0.74	1—5	2.11	36/26
167	114	90	0.25	57	1	单层链形	QZ φ0.83	1—6	2.41	48/44
167	114	125	0.25	42	1	单层链形	QZ φ0.96	1—6	2.74	48/44
188	128	115	0.25	40	1	单层链形	QZ 2×φ0.83	1—6	3.81	48/44
188	128	145	0.25	31	1	单层链形	QZ 2×φ0.96	1—6	4.53	48/44
245	174	120	0.35	47	1	单层链形	QZL φ1.3	1—6	2.3	48/44
245	174	170	0.35	34	1	单层链形	QZL φ1.08	1—6	2.5	48/44
280	200	180	0.4	62	2	双层	QZ φ1.2	1—6	8.5	48/44
280	200	240	0.4	48	2	双层	QZ φ1.35	1—6	10.7	48/44
328	230	200	0.4	20	1	双层	QZL 2×φ1.68	1—6		48/44
328	230	260	0.4	16	1	双层	QZL 3×φ1.56	1—6		48/44
368	260	240	0.45	30	2	双层	QZL 2×φ1.56	1—6		48/44
405	275	320	0.65	34	4	双层	QZL 3×φ1.35	1—9		72/58
462	315	290	0.7	30	4	双层	QZL φ1.56	1—9		72/58

附录六　分马力电动机的铁心、绕组数据

电机型号	功率（瓦）	电压（伏）	定子铁心尺寸			定子绕组技术数据					
			内径（毫米）	长度（毫米）	槽数	线规直径（毫米）	线圈匝数	并绕根数	并联支路数	节距	线圈只数
JW09A-2	600	220/380	60	56	24	0.59	104	1	1	1—12 2—11	6
JW09B-2	400	220/380	60	48	24	0.51	135	1	1	1—12 2—11	6
JW08A-2	250	220/380	52	60	18	0.47	208	1	1	1—9 2—8	6
JW08B-2	180	220/380	52	46	18	0.41	262	1	1	1—9 2—8	6
JW07A-2	120	220/380	48	45	18	0.31	300	1	1	1—9 2—8	6
JW07B-2	90	220/380	48	36	18	0.27	364	1	1	1—9 2—8	6
JW06A-2	60	220/380	42	45	16	0.23	400	1	1	1—8 2—7	6
JW06B-2	40	220/380	42	35	16	0.20	500	1	1	1—8 2—7	6
JW05A-2	25	220/380	36	42	16	0.19	540	1	1	1—8 2—7	6
JW05B-2	15	220/380	36	30	16	0.17	700	1	1	1—8 2—7	6

JW09A-4	400	220/380	71	62	24	0.51	147	1	1	1—6	12
JW09B-4	250	220/380	71	48	24	0.41	200	1	1	1—6	12
JW08A-4	180	220/380	58	60	24	0.38	214	1	1	1—6	12
JW08B-4	120	220/380	58	46	24	0.33	286	1	1	1—6	12
JW07A-4	90	220/380	48	45	18	0.31	124	(双层)	1	1—7	2～6 1～6
JW07B-4	60	220/380	48	36	18	0.27	282	(双层)	1	1—7	2～6 1～6
JW05A-4	15	220/380	36	42	16	0.17	800	1	1	1—4	12
JW05B-4	8	220/380	36	30	16	0.14	1140	1	1	1—4	12
JW-081-2	180	220/380	52	40	24	0.33	175	1	1	1—12 2—11	6
JW-082-2	250	220/380	52	50	24	0.38	140	1	1	1—12 2—11	6
JW-091-2	400	220/380	65	44	24	0.55	136	1	1	1—12 2—11	6
JW-092-2	600	220/380	65	52	24	0.62	112	1	1	1—12 2—11	6
JW-11-2	800	220/380	65	70	24	0.69	86	1	1	1—12 2—11	6
JW-081-4	120	220/380	60	45	24	0.35	288	1	1	1—6	12
JW-082-4	180	220/380	60	58	24	0.41	218	1	1	1—6	12
JW-090-4	250	220/380	70	48	24	0.44	200	1	1	1—6	12
JW-092-4	400	220/380	70	62	24	0.55	155	1	1	1—6	12
JW-11-4	600	220/380	70	80	24	0.59	120	1	1	1—6	12
JW-12-4	800	220/380	70	100	24	0.67	94	1	1	1—6	12
JW-082-6	120	220/380	60	58	24	0.35	300	(双层)	1	1—5	18
JW-11-6	400	220/380	70	80	24	0.55	160	(双层)	1	1—5	18

附录七　早年产品(老式/进口)电动机的铁心、绕组数据

电机类型	功率	电压(伏)	定子铁心尺寸			定子绕组技术数据					
			内径(毫米)	长度(毫米)	槽数	线规直径(毫米)	线圈匝数	并绕根数	并联支路数	节距	线圈只数
2 极											
原单相现改三相	60 瓦	380	50	42	18	# 35	350	1	1	1—8 2—7	6
原单相现改三相	60 瓦	380	66.5	26	24	0.27	260	1	1	1—11 2—12	6
原单相现改三相	90 瓦	380	60	43	24	# 32	210	1	1	1—11 2—12	6
原单相现改三相	0.125千瓦	380	54	56	16	# 30	300	1	1	1—7 2—8	6
油泵电机	0.125千瓦	380	53.5	50	18	# 30	265	1	1	1—8 2—7	6
原单相现改三相	0.18千瓦	380	68	48	20	0.41	330	1	1	1—9 2—10	6
原单相现改三相	0.18千瓦	380	70	50	16	0.41	380	1	1	1—7 2—8	6
原单相现改三相	0.25千瓦	380	51	52	12	0.31	465	1	1	1—5 2—6	6

原单相现改三相	0.25千瓦	380	54	56	16	0.31	400	1	1	1—7 2—8	6
高潮(鼓风机)	0.6千瓦	380	98	62	18	0.50	125	1	1	1—8 2—9	6
浙江(鼓风机)	0.75千瓦	380	76	55	24	0.64	99	1	1	1—11 2—12	6
大　　威	0.736千瓦	380	69	78	24	0.55	78	1	1	1—11 2—12	6
新民(鼓风机)	1 马力	380	78	54	24	0.64	106	1	1	1—11 2—12	6
喷油电机	1 千瓦	380	98	58	24	0.80	100	1	1	1—11 2—12	6
麦拉利	1.1 千瓦	380	78	58	18	0.80	144	1	1	1—8 2—9	6
GEGM	3 马力	380	122	77	18	1.00	80	1	1	1—8 2—9	6
喷油电机	2.8 千瓦	380	110	115	24	1.22	40	1	1	1—11 2—12	6
华　　昌	7.5 马力	380	137	110	36	1.25	16(双)	2	1	1—13 2—14	6
华　　成	10 马力	380/660	149	110	24	1.42	60	1	1	1—11 2—12	6
4 极											
原单相现改三相	0.35千瓦	380	80	55	24	0.47	178	1	1	1—6	12
原单相现改三相	0.35千瓦	380	93	50	36	0.51	150	1	1	1—10	12
原单相现改三相	1/3 马力	380	89	47	36	0.44	160	1	1	1—10	12

（续表）

电机型号	功率	电压（伏）	定子铁心尺寸			定子绕组技术数据					
			内径（毫米）	长度（毫米）	槽数	线规直径（毫米）	线圈匝数	并绕根数	并联支路数	节距	线圈只数
原单相现改三相	1/2马力	380	115	40	12	0.44	440	1	1	1—3	12
原单相现改三相	1/2马力	380	89	54	36	0.51	175	1	1	1—10	12
原单相现改三相	1/2马力	380	101	58	24	0.51	157	1	1	1—6	12
原单相现改三相	1/2马力	380	93	51	36	0.51	192	1	1	1—10	12
原单相现改三相	3/4马力	380	101	65	36	0.59	144	1	1	1—10	12
原单相现改三相	3/4马力	380	87	70	24	0.59	110	1	1	1—6	12
原单相现改三相	3/4马力	380	114	64	36	0.59	116	1	1	1—10	12
原单相现改三相	1 马力	380	92	83	36	0.69	110	1	1	1—10	12
原单相现改三相	1 马力	380	105	70	36	0.69	95	1	1	1—10	12
原单相现改三相	1 马力	380	114	64	36	0.69	86	1	1	1—10	12
原单相现改三相	2 马力	380	113	90	36	0.93	78	1	1	1—10	12
原单相现改三相	2 马力	380	134	87	36	0.93	55	1	1	1—10	12
原单相现改三相	4 马力	380	139	115	32	1.30	56	1	1	1—8	12
明电含	1/2马力	380	108	50	24	0.51	162	1	1	1—6	12
玲 奋	1/2马力	380	101	54	36	0.51	90	1	1	1—10	12
诱 导	1/2马力	380	100	45	36	0.51	120	1	1	1—10	12
永 兴	1/2马力	380	85	72	24	0.51	158	1	1	1—6	12
公 用	1 马力	380	110	48	36	0.64	104	1	1	1—10	12

公　用	1 马力	380	120	69	36	0.69	82	1	1	1—10	12
日　立	1 马力	380	115	57	36	0.70	98	1	1	1—10	12
维　昌	1 马力	380	99	60	24	0.72	163	1	1	1—6	12
振　华	1 马力	380	105	67	24	0.72	130	1	1	1—6	12
怡　和	1 马力	380	93.5	83	36	0.69	74	1	1	1—10	12
日　立	$1\frac{1}{2}$ 马力	380	127	75	36	0.90	70	1	1	1—10	12
华　成	$1\frac{1}{2}$ 马力	380	124	65	36	0.86	70	1	1	1—10	12
德　制(P. S)	$1\frac{1}{2}$ 马力	380	120	70	24	0.83	102	1	1	1—6	12
法　汇	2 马力	380	127	75	36	0.96	70	1	1	1—10	12
安　川	2 马力	380	127	85	36	0.96	60	1	1	1—10	12
麦拉利	2 马力	380	100	70	36	0.86	84	1	1	1—10	12
维　昌	2 马力	380	100	117	24	1.02	82	1	1	1—6	12
台而柯	2 马力	380	113	82	36	0.93	66	1	1	1—10	12
富　士	2 马力	380	140	60	48	0.93	50	1	1	1—12	12
鸿　康	2 马力	380	131	80	36	0.96	72	1	1	1—10	12
华　泰	2 马力	380	127	77	36	0.96	54	1	1	1—10	12
美　泰	2 马力	380	114.7	101	24	1.00	69	1	1	1—6	12
华　成	2 马力	380	123	90	36	0.96	52	1	1	1—10	12
华　昌	2 马力	380	111	105	24	0.96	92	1	1	1—6	12
孙立记	2 马力	380	115	70	36	0.93	72	1	1	1—10	12
惠司汀	2 马力	380	149	75	36	0.91	60	1	1	1—10	12
理　研	2 马力	380	130	67	24	0.93	86	1	1	1—6	12

（续表）

电机类型	功率	电压（伏）	定子铁心尺寸			定子绕组技术数据					
			内径（毫米）	长度（毫米）	槽数	线规直径（毫米）	线圈匝数	并绕根数	并联支路数	节距	线圈只数
通　用	2 马力	380	109	100	36	0.93	49	1	1	1—10	12
爱　林	2 马力	380	115.5	75	24	0.90	107	1	1	1—6	12
中　汇	2 马力	380	106	87	36	0.93	60	1	1	1—10	12
合　丰	2 马力	380	121	82	36	0.93	62	1	1	1—10	12
钱镛记	3 马力	380	121.5	98	36	1.12	56	1	1	1—10	12
鸿　康	3 马力	380	131	110	36	1.12	54	1	1	1—10	12
华　成	3 马力	380	152	82	36	1.20	40	1	1	1—10	12
玲　奋	3 马力	380	115	105	24	1.20	62	1	1	1—6	12
富　士	3 马力	380	140	80	36	1.12	46	1	1	1—10	12
合　丰	3 马力	380	130	90	36	1.12	56	1	1	1—10	12
通　用	3 马力	380	120	96	36	1.20	40	1	1	1—10	12
罗森德	3 马力	380	115	133	24	1.12	65	1	1	1—6	12
西门子	3 马力	380	126.5	62	36	1.08	58	1	1	1—10	12
芝　浦	3 马力	380	128	76	36	1.12	62	1	1	1—10	12
华　兴	3 马力	380	130	95	36	1.12	46	1	1	1—10	12
三　菱	3 马力	380	133	91	48	1.08	42	1	1	1—12	12
皮根门	3 马力	380	149	102	36	1.20	44	1	1	1—10	12
孙立记	3 马力	380	115	94	36	1.08	60	1	1	1—10	12

天　利	4 马力	380	148	105	36	1.30	40	1	1	1—10	12
玲　奋	4 马力	380	125	128	36	1.30	40	1	1	1—10	12
捷　克	5 马力	380	134	100	36	1.45	38	1	1	1—10	12
西门子	5 马力	380	166	78	36	1.45	64	1	1	1—10	12
西门子	5 马力	380	145	95	36	1.45	42	1	1	1—10	12
公　用	5 马力	380	129	115	36	1.50	38	1	1	1—10	12
麦拉利	5 马力	380	146	78	36	1.40	44	1	1	1—10	12
爱　林	5 马力	380	135.5	85	36	1.30	50	1	1	1—10	12
日　立	5 马力	380	150	95	36	1.45	38	1	1	1—10	12
诱　导	5 马力	380	180	78	36	1.45	40	1	1	1—10	12
罗森德	5 马力	380	154	109	48	1.45	23	1	1	1—12	12
天　利	5 马力	380	148	105	36	1.42	34	1	1	1—10	12
白浪鲍弗而	5 马力	380	161	123	36	1.60	36	1	1	1—10	12
通　用	5 马力	380	140	98	36	1.50	37	1	1	1—10	12
惠司汀	5 马力	380	143	98	36	1.42	36	1	1	1—10	12
振　业	5 马力	380	145	90	36	1.45	46	1	1	1—10	12
合　丰	7.5 马力	380	150	140	36	1.25	56	1	2	1—10	12
富　士	7.5 马力	380	160	120	54	1.25	32	1	2	1—13	12
通　用	7.5 马力	380	176	94	36	1.45	58	1	2	1—10	12
西门子	7.5 马力	380	166	110	48	1.81	26	1	1	1—12	12
安　川	7.5 马力	380	171	108	36	1.30	54	1	2	1—13	12
孙立记	7.5 马力	380	144.5	128	36	1.25	60	1	2	1—10	12
罗森德	7.5 马力	380/660	154	148	48	1.30	25	1	1	1—12	12
钱镛记	7.5 马力	380/660	159.5	127	45	1.30	26	1	1	1—12	12
株式会社	7.5 马力	380/660	160	126	36	1.30	56	1	1	1—10	12

（续表）

电机类型	功率	电压（伏）	定子铁心尺寸			定子绕组技术数据					
			内径（毫米）	长度（毫米）	槽数	线规直径（毫米）	线圈匝数	并绕根数	并联支路数	节距	线圈只数
西门子	8 马力	380/660	180	135	36	1.40	34	1	1	1—10	12
白浪鲍弗而	10 马力	380	175	134	36	1.45	54	1	2	1—13	12
电　华	10 马力	380	190	142	36	1.50	40	1	2	1—10	12
诱　导	10 马力	380	161	56×3	36	1.45	48	1	2	1—10	12
合　丰	10 马力	380/660	190	114	36	1.50	44	1	1	1—10	12
麦拉利	10 马力	380	178	102	36	1.42	50	1	2	1—10	12
芝　浦	10 马力	380/660	204	56×2	36	1.56	36	1	1	1—10	12
富　士	10 马力	380	182	140	36	1.62	42	1	2	1—10	12
西门子	11.5马力	380	180	146	48	1.45	34	1	2	1—12	12
西门子	11.5马力	380	166	126	36	1.56	42	1	2	1—10	12
西门子	12.5马力	380/660	166	106	36	1.62	42	1	1	1—10	12
通　用	15 马力	380	195	130	36	1.74	15	2	1	1—10	12
G　E	25 马力	380/660	230	145	48	1.50	72	1	2	1—12	12
罗森德	30 马力	380/660	240	180	48	1.81	16	2	1	1—12	12
6　极											
诱导(布机电机)	1/2 马力	380	114	102	36	0.62	133	1	1	1—6	18
振　华	1/2 马力	380	105	60	36	0.62	147	1	1	1—6	18
荣　昌	1/2 马力	380	95	52	36	0.51	160	1	1	1—6	18

玲　奋	3/4 马力	380	125	106	36	0.80	90	1	1	1—6	18
公　用	3/4 马力	380	116	92	36	0.80	89	1	1	1—6	18
华　成	3/4 马力	380	133	82	36	0.80	90	1	1	1—6	18
玲　奋	1 马力	380	125	95	36	0.84	74	1	1	1—6	18
大　幸	1 马力	380	101.5	75	36	0.84	93	1	1	1—6	18
西门子	1.5 马力	380	130	63	36	0.90	88	1	1	1—6	18
永泰和	1.5 马力	380	131.5	70	36	0.93	72	1	1	1—6	18
华　通	2 马力	380	127	90	36	0.96	80	1	1	1—6	18
麦拉利	5 马力	380	158	102	54	1.30	30	1	1	1—9	18
罗德森	5 马力	380	170	145	54	1.00	24	2	1	1—9	18
西门子	5 马力	380	156	96	36	1.04	92	1	2	1—6	18
白浪鲍弗而	5 马力	380	193	123	54	1.60	32	1	1	1—9	18
维　昌	5 马力	380	160	124	54	1.60	28	1	1	1—9	18
西门子	7.5 马力	380/660	196	113	54	1.30	46	1	2	1—9	18
E　字	8 马力	380	174	130	54	1.42	38	2	1	1—9	18
三　菱	10 马力	380/660	210	155	54	1.45	34	1	1	1—9	18
罗德森	10 马力	380	200	122	54	1.60	38	1	1	1—9	18
西门子	7 千瓦	380/660	225	176	48	1.45	32	1	1	1—8	18
皮根门	15 马力	380	255	150×3	54	1.80	32	2	2	1—9	18
开　玲	15 马力	380/660	248	162	54	2.03	24	1	1	1—9	18
芝　浦	25 马力	380/660	356	62×2	72	1.68	15	2	1	1—12	18
祥　泰	40 马力	380	355	72×2	72	1.56	24	2	2	1—12	18
惠司汀	40 马力	380	364	130	72	1.35	24	4	3	1—12	18
华　成	100 马力	380	430	59×3	90	1.83	12	4	3	1—15	18

附录八　QY 型油浸式潜水电泵技术数据

型　　号	QY-3.5 米	QY-7 米	QY-15 米	QY-25 米
扬　　程　　(米)	3.5	7	15	25
流　　量　　(米³/时)	100	65	25	15
使 用 范 围　(米)	1～5	5～10	10～18	18～28
电泵出水管内径(毫米)	125	100	50	40
配用出水管内径(毫米)	152	102	64	51
水　泵　型　式	轴流泵	混流泵	离心泵	离心泵
电　　动　　机	功率：2.2 千瓦；转速：2800 转/分；电压：380 伏；电流：6.5 安；绕组接法：丫形			
重　　量　　(公斤)	45	45	50	55

附录九　硅钢片磁化曲线

D_{21} 硅钢片磁化曲线

B（高斯）	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	B（高斯）
4000	1.40	1.43	1.46	1.49	1.52	1.55	1.58	1.61	1.64	1.67	4000
5000	1.71	1.75	1.79	1.83	1.87	1.91	1.95	1.99	2.03	2.07	5000
6000	2.12	2.17	2.22	2.27	2.32	2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	6000
7000	2.67	2.74	2.81	2.88	2.95	3.02	3.09	3.16	3.23	3.31	7000
8000	3.40	3.48	3.56	3.64	3.72	3.80	3.89	3.98	4.07	4.16	8000
9000	4.25	4.35	4.45	4.55	4.65	4.75	4.88	5.01	5.14	5.27	9000
10000	5.40	5.52	5.64	5.76	5.89	6.02	6.16	6.30	6.45	6.60	10000
11000	6.75	6.91	7.08	7.26	7.45	7.65	7.86	8.08	8.31	8.55	11000
12000	8.80	9.06	9.33	9.61	9.91	10.23	10.57	10.93	11.31	11.72	12000
13000	12.15	12.60	13.07	13.57	14.07	14.60	15.16	15.75	16.37	17.02	13000
14000	17.70	18.42	19.20	20.10	21.00	22.00	23.00	24.00	25.00	26.70	14000
15000	28.50	30.50	32.50	34.50	36.70	39.00	41.40	44.20	47.00	50.00	15000
16000	52.30	55.00	58.00	61.50	65.10	68.80	72.60	76.40	80.20	84.00	16000
17000	88.00	92.00	96.00	100.00	105.00	110.00	116.00	122.00	129.00	136.00	17000
18000	144.00										18000

D_{23} 厚度 0.5 毫米硅钢片磁化曲线

B（高斯）	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	B（高斯）
4000	1.38	1.40	1.42	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	4000
5000	1.58	1.60	1.62	1.64	1.66	1.69	1.71	1.74	1.76	1.78	5000
6000	1.81	1.84	1.86	1.89	1.91	1.94	1.97	2.00	2.03	2.06	6000
7000	2.10	2.13	2.16	2.20	2.24	2.28	2.32	2.36	2.40	2.45	7000
8000	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.76	2.81	2.87	2.93	2.99	8000
9000	3.06	3.13	3.19	3.26	3.33	3.41	3.49	3.57	3.65	3.74	9000
10000	3.83	3.92	4.01	4.11	4.22	4.33	4.44	4.56	4.67	4.80	10000
11000	4.93	5.07	5.21	5.36	5.52	5.68	5.84	6.00	6.16	6.33	11000
12000	6.52	6.72	6.94	7.16	7.38	7.62	7.86	8.10	8.36	8.62	12000
13000	8.90	9.20	9.50	9.80	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	13000
14000	12.6	13.1	13.6	14.2	14.8	15.5	16.3	17.1	18.1	19.1	14000
15000	20.1	21.2	22.4	23.7	25.0	26.7	28.5	30.4	32.6	35 1	15000
16000	37.8	40.7	43.7	46.8	50.0	53.4	56.8	60.4	64.0	67.8	16000
17000	72.0	76.4	80.8	85.4	90.2	95.0	100	105	110	116	17000
18000	122	128	134	140	146	152	158	165	172	180	18000

D_{24} 厚度 0.5 毫米硅钢片磁化曲线

B（高斯）	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	B（高斯）
4000	1.37	1.38	1.40	1.42	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	4000
5000	1.56	1.58	1.60	1.62	1.64	1.66	1.68	1.70	1.72	1.75	5000
6000	1.77	1.79	1.81	1.84	1.87	1.89	1.92	1.94	1.97	2.00	6000
7000	2.03	2.06	2.09	2.12	2.16	2.20	2.23	2.27	2.31	2.35	7000
8000	2.39	2.43	2.48	2.52	2.57	2.62	2.67	2.73	2.79	2.85	8000
9000	2.91	2.97	3.03	3.10	3.17	3.24	3.31	3.39	3.47	3.55	9000
10000	3.63	3.71	3.79	3.88	3.97	4.06	4.16	4.26	4.37	4.48	10000
11000	4.60	4.72	4.86	5.00	5.14	5.29	5.44	5.60	5.76	5.92	11000
12000	6.10	6.28	6.46	6.65	6.85	7.05	7.25	7.46	7.68	7.90	12000
13000	8.14	8.40	8.68	8.96	9.26	9.58	9.86	10.2	10.6	11.0	13000
14000	11.4	11.8	12.3	12.8	13.3	13.8	14.4	15.0	15.7	16.4	14000
15000	17.2	18.0	18.9	19.9	20.9	22.1	23.5	25.0	26.8	28.6	15000
16000	30.7	33.0	35.6	38.2	41.1	44.0	47.0	50.0	53.5	57.5	16000
17000	61.5	66.0	70.5	75.0	79.7	84.5	89.5	94.7	100	105	17000
18000	110	116	122	128	134	141	148	155	162	170	18000